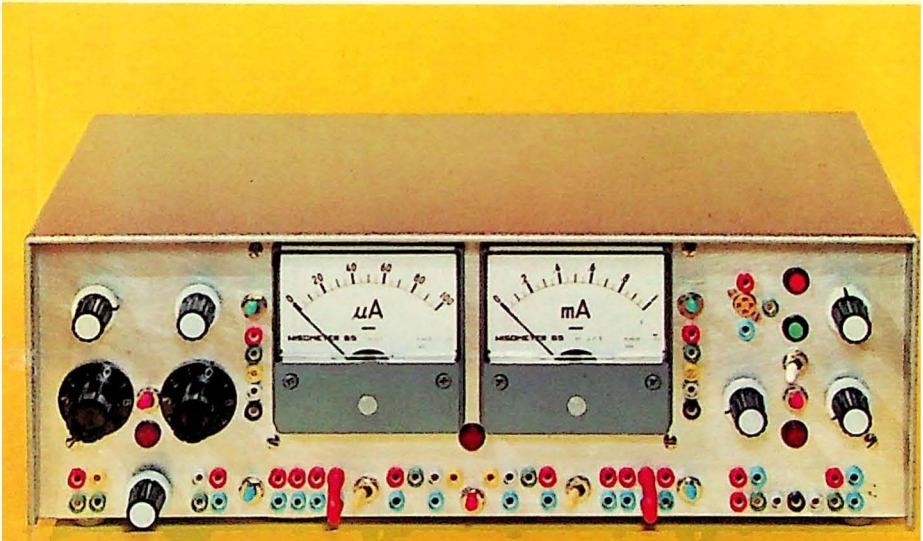
Telekosmos
Hobby-
Elektronik

TELEKOSMOS ELEKTRONIK

Waldemar Baitinger

# Wir bauen ein Vielfachmeßgerät




Wir messen Strom, Spannung, Widerstand und Transistorenfunktionen

Telekosmos Hobby-Elektronik

Waldemar Baitinger

# Wir bauen ein Vielfachmeßgerät

## Wir messen Strom, Spannung, Widerstand und Transistorenfunktionen

Mit 48 Abbildungen im Text
und 4 Fotos auf 2 Tafeln

Telekosmos-Verlag
Franckh'sche Verlagshandlung
Stuttgart

Umschlag von Edgar Dambacher unter Verwendung eines Dias von Uwe Höch
48 Abbildungen, gezeichnet von Edeltraud Weber, Pirjo Ketola, Manfred Berret, Hans-Herrmann Kropf nach Vorlagen des Verfassers
Fotos vom Verfasser

Franckh'sche Verlagshandlung, W. Keller & Co., Stuttgart / 1972
Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe, der Übertragung in Bildstreifen und der Übersetzung, vorbehalten
© 1972, Franckh'sche Verlagshandlung, W. Keller & Co., Stuttgart
Printed in Germany / Imprimé en Allemagne
LH 10 Ste / ISBN 3-440-03926-9
Druck: Johannes Illig, Buch- und Offsetdruck, Göppingen (Württ.)

# Wir bauen ein Vielfachmeßgerät


Einleitung . . . . . 7

Methodische Untersuchung einer Schaltung . . . . . 9

Richtiges Messen an einer Schaltung . . . . . 10

Spannung, Strom und Widerstand — direkt und indirekt gemessen . . . . . 12

Was enthält und was leistet unser Multimeter? . . . . . 14

Die Bearbeitung des Gehäuses . . . . . 20

Regelbare Netzgeräte zur Stromversorgung . . . . . 27

Die Herstellung der gedruckten Schaltung . . . . . 30

Montage der Frontplatte . . . . . 35

Meßbereichserweiterung der Anzeigeinstrumente . . . . . 37

Das Transistorprüfgerät . . . . . 39

Gleich- und Wechselstrom-Spannungsmesser mit Operationsverstärker . . . . . 47

Aufbau der Schaltung . . . . . 58

Doppeltes Netzgerät für die beiden Voltmeter mit Operationsverstärker . . . . . 62

Abgleich der Voltmeter mit Operationsverstärker . . . . . 64

Regelbarer Rechteckgenerator von 0,1 Hz bis 200 kHz . . . 67

Aufbau der gedruckten Schaltung . . . . . 71

Das Ohmmeter . . . . . 74

Bezugsquellenverzeichnis . . . . . 76

Einige Formeln und Berechnungsbeispiele . . . . . 77

Literatur . . . . . 80
Sachregister . . . . . 81

# Einleitung

Die im Fachhandel angebotenen Multimeter sind im allgemeinen konventionelle Vielfachmeßgeräte, die durch geschickte Anordnung der Bauteile mehrere Meßfunktionen in sich vereinigen. Die gewünschte Meßfunktion läßt sich mit einem Umschalter „wählen" und auf ein Anzeigeinstrument schalten. Beim Vielfachmeßgerät konventioneller Art hängt die Genauigkeit einer Messung von der Qualität des Anzeigeinstruments ab. Bei einem Meßgerät mit Halbleitern dagegen bestimmt die Güte der Schaltung zu einem wesentlichen Teil die Genauigkeit. Es würde nichts nützen, ein genaues und empfindliches Anzeigeinstrument zu verwenden, wenn in der Schaltung selbst eine Ungenauigkeit steckt, die größer ist als die mögliche Fehlanzeige des verwendeten Zeigerinstrumentes. Einen ausgezeichneten Ausweg aus diesen Schwierigkeiten bieten Operationsverstärker. Welche Typen man verwendet, ist eine reine Preisfrage. Man muß hier einen Kompromiß finden zwischen der benötigten Genauigkeit und den Herstellungskosten beim Selbstbau.
Bei der nun im folgenden beschriebenen Konstruktion eines Vielfachmeßgerätes wurde der Aufwand so gering wie möglich gehalten. Der Aufbau erfolgt in einzelnen Bauabschnitten, deren jeder sich logisch aus dem vorhergehenden ergibt. Der Schwierigkeitsgrad steigt mit der Zunahme der Meßmöglichkeiten.
Für die mechanischen Arbeiten am Gehäuse benötigen wir kaum mehr als die üblicherweise vorhandenen Werkzeuge. Handbohrmaschine, Feilen und Metall-Laubsäge genügen. Gehäuse und Bauteile erhält man im Fachhandel. Eine Aufstellung von Lieferfirmen findet sich am Schluß des Bändchens.

# Methodische Untersuchung einer Schaltung

Bevor wir nun an den Aufbau unseres Gerätes gehen, müssen wir uns zunächst in Grundzügen mit der Methodik des Messens beschäftigen. Die moderne Halbleitertechnik, vor allem die Technik der gedruckten Schaltung, bietet den Vorzug der Kleinbauweise. Geht man in solchen Schaltungen — aus Unwissenheit — mit einem ungeeigneten Meßgerät auf Fehlersuche, so genügt oft schon die kürzeste Fehlberührung zweier Leiterbahnen zur völligen Zerstörung teuerer Bauteile. Wir müssen uns daher vor Beginn jeder Messung erst mit der Funktion der Schaltung völlig vertraut machen. Im Anschluß daran gehe man stets streng systematisch vor. Man prüft als erstes die Stromversorgung und die Leistungsstufen. Dabei verfolgt man die Schaltung von „rückwärts", d. h. vom Ausgang zum Eingangssignal. Ein Mikrofonverstärker z. B. wird von der Stromversorgung rückwärts zum Mikrofoneingang durchgemessen. Stimmen die Stromversorgung der einzelnen Halbleiter und die eingestellten Arbeitspunkte, schließt man als nächstes an den Eingang ein Wechselspannungssignal an und beginnt wiederum beim Ausgang mit dem Messen der Verstärkung.

Es kann nicht dringend genug vor dem wahllosen Messen an Schaltungen gewarnt werden, vor allem mit Meßgeräten, deren Innenwiderstand (er sollte mindestens 50 kΩ/V betragen) man nicht kennt. So etwas führt nur, um es nochmals zu betonen, in vielen Fällen zur unnötigen Zerstörung der Halbleiter in der Schaltung. Weit verbreitet ist z. B. die schlechte Angewohnheit, mit einem Durchgangsprüfer die einzelnen Diodenstrecken und Halbleiter von Basis zu Emitter und Emitter zu Kollektor durchzumessen. Solange wir es dabei mit Halbleitern oder Dioden größerer Leistung zu tun haben, ist diese Methode noch zulässig. Für empfindliche Halbleiter jedoch, d. h. auch schnellschaltende

Dioden und Transistoren, bedeutet eine solche Messung die sofortige Zerstörung: Die meisten Durchgangsprüfer haben einen Querstrom von 10 bis 20 mA, die Basisstrecke eines Transistors hat z. B. maximal 0,1 mA. Diese Zahlen lassen auf Anhieb erkennen, wie verhängnisvoll eine derartige Prüfmethode sein kann. Dabei kann man ein Transistorprüfgerät leicht mit wenig Mitteln aufbauen, und wir werden in einem der folgenden Kapitel eine solche Schaltung besprechen.

## Richtiges Messen an einer Schaltung

Zunächst müssen wir feststellen, wie hoch der Eingangswiderstand unserer Schaltung ist und welche Spannungsbereiche vorliegen. Es ist falsch, mit einem Voltmeter, dessen Vollausschlag 100 V beträgt, 1—5 V zu messen, da hier die Möglichkeit einer Fehlanzeige allzugroß ist. Besonders zu achten ist auch auf die von vornherein im verwendeten Meßgerät vorhandene Fehlanzeige. Beträgt sie bei unserem Anzeigeinstrument z. B. ± 3% vom Vollausschlag der Skalenanzeige, dann erhielten wir im obengenannten Fall eine Ungenauigkeit von ± 3 V. Bei einer 5-V-Anzeige messen wir also entweder echte 8 V oder echte 2 V. Dieses Beispiel zeigt sehr augenfällig, wie wichtig die Wahl des richtigen Meßbereichs ist.

Grundsätzlich gilt: Bei einer Spannungsmessung beginnt man stets mit dem größten Meßbereich, der vorkommen kann. Arbeiten wir mit einer Spannungsversorgung von 12 V, beginnen wir mit dem 15- oder 30-V-Meßbereich und gehen dann so lange auf den jeweils folgenden kleineren Meßbereich herunter, bis das Zeigerinstrument im zweiten Drittel der Skale anzeigt. Auf diese Weise erreichen wir mit Sicherheit die größte Meßgenauigkeit. Die meisten Anzeigeinstrumente haben 1,5% Genauigkeit, von der Vollanzeige aus gerechnet. Wenn wir z. B. im 6-V-Meß-

bereich 5 V messen, liegt die Fehlergrenze bei 4,82 V oder 5,18 V.

Eine weitere Fehlermöglichkeit birgt die Nichtbeachtung des Innenwiderstandes eines Voltmeters. Das soll im folgenden an einem Beispiel ausgeführt werden. In einer hochohmigen Schaltung *(Bild 1)* soll die Spannung zwischen dem Emitter und Kollektor eines Transistors gemessen werden. Der Kollektorwiderstand hat 50 k$\Omega$. Die Spannung am Widerstand und am Transistor soll 10 V sein. Unser Voltmeter hat einen Meßbereich von 20 V und einen Innenwiderstand von 500 $\Omega$ pro V. Durch den Anschluß des Voltmeters entsteht eine Parallelschaltung zwi-

1. $U_{RC}$ 10 V 200 $\mu$A
   $U_{CE}$ 10 V 200 $\mu$A

2. Messung mit angeschlossenem Voltmeter 500 $\Omega$/V
   $U_{RC}$ 17,5 V 350 $\mu$A
   $U_{CE}$ 2,5 V 350 $\mu$A

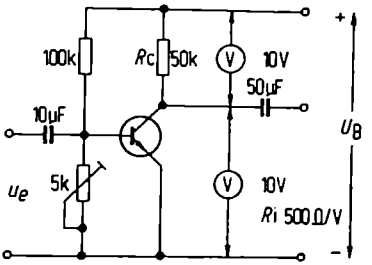



Bild 1. Spannungsmessung an einer hochohmigen Schaltung

schen dem Transistor und dem Voltmeter. Nach dem Ohmschen Gesetz I = U : R fließt durch den Widerstand Rc ein Strom von 200 $\mu$A. Da auch am Transistor eine Spannung von 10 V liegt, hat er einen Innenwiderstand von 50 000 $\Omega$. Schalten wir nun auch den inneren Innenwiderstand des Voltmeters parallel, dann fließt der Strom durch den Transistor und durch das Voltmeter: der Gesamtwiderstand beträgt jetzt 8,33 k$\Omega$. Der Gesamtstrom steigt auf 350 $\mu$A an. Der Spannungsabfall an den beiden Widerständen von 50 k$\Omega$ und 8,33 k$\Omega$ ändert sich. Am Kollektorwiderstand beträgt er 17,5 V und am Transistor 2,5 V. Der Meßfehler ist also eindeutig zu erkennen.

Wir müssen demnach als Grundsatz beachten: Der Innenwiderstand des Voltmeters geht in die Meßgenauigkeit ein. Der Praktiker nimmt daher grundsätzlich bei Messungen an einer Schal-

tung ein Voltmeter, welches einen zehnmal größeren Innenwiderstand hat als die Schaltung selbst. In unserem Beispiel wären 25 000 Ohm pro Volt gleich 500 kΩ. Bei diesem Innenwiderstand bleibt der Meßfehler in sehr geringen Grenzen. — Die meisten Zeigervoltmeter für Halbleitermessungen haben 20—50 kΩ/V.
Beim Umgang mit Röhrenschaltungen müssen wir ganz besonders auf die höheren Spannungen achten, denn damit wird das zufällige Berühren von Leitungen sehr gefährlich. Für Messungen gelten die gleichen Grundsätze wie beim Messen an Halbleiterschaltungen. Röhrenschaltungen sind hochohmig. Man verwendet daher ein Voltmeter mit einem hohen inneren Widerstand. — Röhrenvoltmeter haben einen Innenwiderstand von mehreren MΩ/V.

## Spannung, Strom und Widerstand - direkt und indirekt gemessen

Die häufigste Methode der Spannungsmessung ist die direkte, unmittelbar am Widerstand (siehe *Bild 2a).* Man benötigt dazu ein hochohmiges Voltmeter, da der innere Widerstand des Gerätes in die Messung eingeht.
Bei genaueren Messungen an einem bekannten Widerstand bevorzugt man die indirekte Methode *(Bild 2b).* Hierbei mißt man den Strom durch die beiden Widerstände und berechnet dann nach dem Ohmschen Gesetz ($U = I \cdot R$) den Spannungsabfall. Welcher von beiden Methoden der Leser den Vorzug gibt, sei ihm überlassen. Allerdings ist bei hochohmigen Schaltungen die indirekte Messung genauer.
Die schon in Bild 2b gezeigte Strommessung ist eine direkte Messung. Man hat nicht immer ein Amperemeter mit einem hohen Meßbereich zur Hand. So kann man mit einem bekannten

Widerstand und einem Voltmeter indirekt den Strom messen. Bei der indirekten Messung wird der Strom gemessen, indem man den Spannungsabfall an einem bekannten Widerstand feststellt und nach dem Ohmschen Gesetz den Strom berechnet (siehe *Bild 2c)*. Dieses Meßverfahren findet häufig Anwendung bei hohen Strömen, also vorwiegend bei niederohmigen Schaltungen. Die Widerstandsmessung in der herkömmlichen Art mit einem vorhandenen Ohmmeter ist eine Überschlagsmessung. Man schaltet eine Spannungsquelle in Reihe mit einem unbekannten Widerstand und eicht das Anzeigeinstrument in Ohm oder Kiloohm (siehe *Bild 2d*). Der Vorwiderstand Rv begrenzt den Strom bei einem Kurzschluß. Man kann also von R = 0 bis R = unendlich groß messen. Je nach Spannungsquelle kann jeder Meßbereich eingestellt werden; man muß nur Rv dementsprechend bemessen. Sämtliche Durchgangsprüfer und direkt anzeigende Ohmmeter arbeiten nach dieser direkten Methode.

Eine genaue Widerstandsmessung erfolgt nach der Strom-Spannungs-Methode (siehe *Bild 2e*). Bei dieser Meßanordnung werden gleichzeitig der Spannungs-

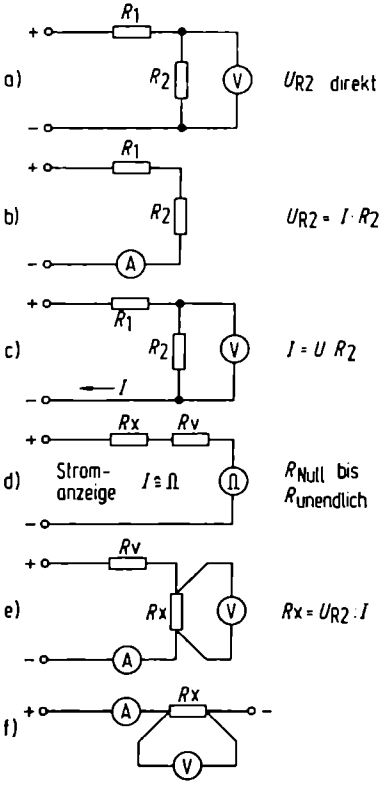



Bild 2. Direkte und indirekte Meßmethoden

abfall am Widerstand und der durch die Schaltung fließende Strom gemessen. Nach dem Ohmschen Gesetz errechnet man dann den Widerstand. Voraussetzung für diese sehr genaue Messung ist ein im Vergleich zum gemessenen Widerstand hochohmiges Voltmeter. Niederohmige Widerstände können nur mit dieser Meßanordnung genau gemessen werden. Zu beachten ist der richtige Anschluß der Meßinstrumente (siehe *Bild 2f*). Das Voltmeter muß direkt am Widerstand angeschlossen werden, um nicht den Spannungsabfall der stromführenden Leitung mitzumessen.

## Was enthält und was leistet unser Multimeter ?

Wenden wir uns nach dieser Einführung dem Meßgerät selbst zu. Der Grundgedanke des Multimeters ist die Zusammenschaltung mehrerer einzelner Meßgeräte zu Prüf- und Meßschaltungen. Dementsprechend wollen wir beim Selbstbau schrittweise vorgehen, wobei Aufbau und Abgleich der einzelnen Bauabschnitte mit einfachen Mitteln durchgeführt werden können.
Unser Vielfachmeßgerät wird vom Netz betrieben, denn Batteriebetrieb ist auf die Dauer zu kostspielig und stellt auf längere Sicht einen Praktiker nicht zufrieden.
Betrachten wir zunächst das Blockschaltbild des Vielfachmeßgerätes *(Bild 3)*. Seine Stromversorgung sowie die der zu messenden Versuchsschaltungen erfolgt über drei Netzgeräte. Zwei davon können hintereinandergeschaltet werden und versorgen gleichzeitig das Transistormeßgerät. Die mögliche Zusammenschaltung der beiden Netzgeräte bietet noch einen weiteren Vorteil. Wir erhalten eine 12fache Diodenreihenschaltung, die stabilisierte Spannungen von 1,5 V, 3,0 V, 4,5 V, 6,0 V, 7,5 V, 9,0 V liefert. Diese Spannungen werden z. B. bei den KOSMOS-Elektronik-Baukästen benötigt. Will man sein Elektronik-Labor

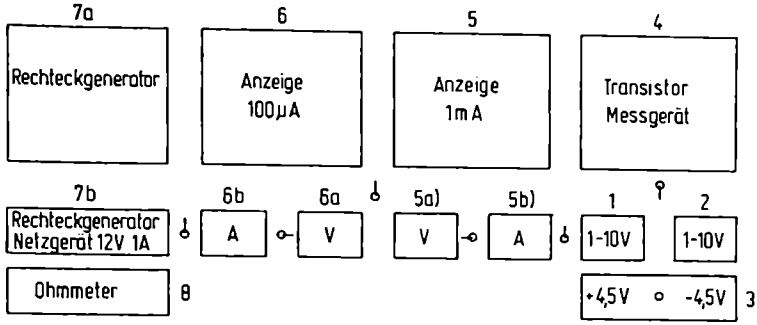



**Bild 3. Das Blockschaltbild des Vielfachmeßgerätes**

1) Netzgerät 1 — 10 V 1 A
2) Netzgerät 1 — 10 V 1 A
3) Netzgerät +4,5V/0/−4,5 0,5A
4) Transistor-Meßgerät
5a) OP-Voltmeter 0,1 V — 100 V
5b) Amperemeter 1 mA — 1 A
6a) OP-Voltmeter 0,1 V — 100 V
6b) Amperemeter 100 µA — mA
7a) Rechteckgenerator
0,1 Hz — 200 kHz
7b) Netzgeräte 120V 1 A
8) Ohmmeter 0 — 10 MΩ

aus dem Vielfachmeßgerät versorgen, so muß man lediglich statt der Trockenbatterien Verlängerungsleitungen an die Stromversorgung legen. Den Spannungsquellen 1,5 V bis 9,0 V kann ein Summenstrom von 0,5 A entnommen werden. Bei Stoßbelastung mit Vollast bleibt der Spannungseinbruch mit ca. 2% pro Spannungsstrecke gering. Dagegen sind Taschenlampenbatterien nach kurzer Betriebsdauer wesentlich empfindlicher gegen Strombelastungen.

Die Brummspannung liegt in der Größenordnung von wenigen Millivolt. Beide Netzgeräte sind elektronisch regelbar und kurzschlußsicher. Jedem Netzgerät kann ein Strom von 1 A entnommen werden. Darüber hinaus sollte man nicht gehen, da die Netztransformatoren eine maximale Dauerleistung von 50 VA haben. Die Regelspannung kann stufenlos von 1,0 V bis 10 V eingestellt werden.

Das dritte nicht regelbare Netzgerät mit 12 V 1 A kann ebenfalls für Versuchsschaltungen genommen werden. Es dient zur Versorgung des Rechteckgenerators und des Ohmmeters.

In Reihe geschaltet bilden die beiden regelbaren Netzgeräte die

Stromversorgung des Transistormeßgerätes. Mittels einer sinnvoll durchdachten Umschaltung können in das Transistormeßgerät die beiden Anzeigeinstrumente sowohl als Strom- wie auch als Spannungsmesser geschaltet werden. Über Kurzschlußbügel lassen sich die beiden Anzeigeinstrumente mit Widerständen zusammenschalten. Wir erreichen damit eine Meßbereichserweiterung, die auch Messungen von Strömen bis zu 1 A Gleichstrom erlaubt. Durch Umschaltung werden beide Anzeigeinstrumente an die elektronischen Voltmeter angeschlossen. Diese elektronischen Voltmeter sind mit Operationsverstärkern aufgebaut und haben einen Innenwiderstand von 100 kΩ/V und 1 MΩ/V. Sie besitzen eine lineare Anzeige für Gleich- und Wechselstrom, sind gegen Überlastungen gesichert und haben jedes neun Meßbereiche, von 0,1 bis 1000 V und 15 mV bis 100 V. Die Schaltung ist bis 10 kHz verwendbar. Will man Polaritätsmessungen durchführen, schaltet man die Voltmeter auf Gleichstrom. Darüber hinaus lassen sich bei Verstärkerschaltungen Wechselspannungen ohne Gleichspannungsanteil messen. Zwei Buchsen des Ohmmeters haben Masseverbindung. Diese Buchsen können bei empfindlichen Messungen zur Erdung genommen werden, was man bei Messungen mit Wechselstrom beachten sollte.

Schalten wir das 12-V-Netzgerät und das Mikroamperemeter in Reihe, können Widerstände in zwei Meßbereichen gemessen werden und zwar von 0 Ω bis 100 kΩ und von 100 kΩ bis 100 MΩ. Der Rechteckgenerator hat in zehn Grobstufen einstellbare Frequenzen von 0,1 Hz bis 200 kHz, die Impulszeiten (ein — aus) können beliebig grob und gleichzeitig fein eingestellt werden. Die Feinregelung erfolgt im Verhältnis 1 : 4 zur Frequenz. So läßt sich z. B. ein Bereich von 500 Hz bis 2000 Hz feinregeln. Der Rechteckgenerator eignet sich weiterhin hervorragend als Signalverfolger, da er oberwellenhaltig ist. Wenn man einen HF- oder NF-Verstärker untersuchen möchte, kann das Signal an jeder Verstärkerstufe eingeschaltet werden. Die Amplitudenregelung des Generators, der einen galvanischen und einen kapazitiven Ausgang hat, geht von 0 V bis 12 V. Er eignet sich auch als Taktgeber für Versuchsschaltungen.

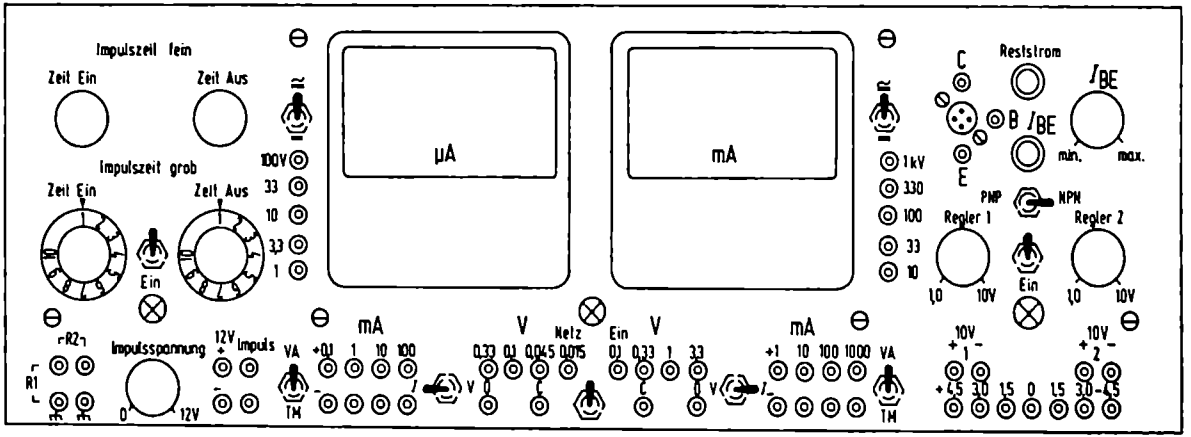



Bild 4. Die Frontplatte des Vielfachmeßgerätes mit Angabe der Funktion aller Anzeigen, Schalter und Buchsen

Tafel I, Abb. 1 und *Bild 4* zeigen die Frontansicht. Rechts oben finden wir das Transistorprüfgerät mit der Transistorsteckfassung, den beiden Drucktasten und dem Drehknopf des Basisstromreglers. Darunter liegt der Umschalter für NPN- und PNP-Transistoren. Eine Reihe tiefer sehen wir die beiden Drehknöpfe der Netzgeräte für die stufenlose Spannungseinstellung von 1—10 V. Zwischen den beiden Drehknöpfen sind untergebracht der EIN-Schalter für die Spannungsteiler-Kette und gleichzeitig das Signallämpchen für das Transistormeßgerät. Die beiden oberen Doppelbuchsen unten rechts auf der Frontplatte sind die Spannungsanschlüsse der Netzgeräte; die untere Reihe entspricht der Spannungskette. Links oben auf der Frontplatte finden wir die beiden Potentiometerknöpfe des Rechteckgenerators. Unter jedem Potentiometer der dazugehörige Bereichsumschalter. Dazwischen der EIN-Schalter und unmittelbar darunter das Glimmlämpchen. Der unterste Drehknopf dient zur Amplitudeneinstellung an den beiden äußeren Buchsen der Viergruppe neben dem Kippschalter. Die beiden anderen Buchsen liefern den Spannungsanschluß 12 V. Links unten sehen wir die Anschlüsse für das Ohmmeter. Unterhalb der beiden Anzeigeinstrumente sehen wir 5 Kippschalter. Der mittlere davon ist der Hauptschalter zum Ein- und Ausschalten des Gerätes. Die Betriebsbereitschaft zeigt ein darüberliegendes Signallämpchen an. Von den verbleibenden jeweils zwei Kippschaltern dienen die links angeordneten zum Abschalten der Anzeigeinstrumente 100 $\mu$A und 1 mA vom Transistorgerät. Jeweils rechts daneben in der oberen Reihe die Anschlüsse für Strommessungen, jeweils mit einem Umschalter für jedes Anzeigeinstrument von Strom- auf Spannungsmessung. Die Buchsen für die neun Spannungsbereiche sind in zwei Gruppen um die Anzeigeinstrumente angeordnet. Die vier empfindlichen Bereiche sind in der unteren Buchsenreihe links und rechts neben den Umschaltern von Strom- auf Spannungsmessung zu finden. Fünf weitere Spannungsbereiche mit den dazugehörigen Umschaltern befinden sich direkt neben den Anzeigeinstrumenten. Der Nullpunkt für jedes Anzeigeinstrument sowie der Anschluß für Wechselspannungsanteil-

Messungen ist direkt neben dem Kippschalter Strom/Spannung angeordnet.
Tafel I, Abb. 2 zeigt die Rückseite des Gerätes. Die Leistungstransistoren und Dioden für die Spannungsteilung sind auf ein der Gehäuserückwand vorgesetztes Kühlblech montiert. Ganz rechts sehen wir den Leistungstransistor für 12 V und in der Mitte und links die Leistungstransistoren der regelbaren Netzgeräte 1 bis 10 V. Die Vorwiderstände und die Diodenkette sind auf der im Bild nicht sichtbaren Seite des Kühlbleches auf Lötleisten befestigt. Die Anordnung des Kühlbleches mit einigem Abstand vom Gehäuse läßt eine Kaminwirkung entstehen: Die von den Bauteilen erzeugte Wärme wird schnell abgeführt. Wir erreichen mit einfachen Mitteln Luftkühlung.
Tafel II, Abb. 3 zeigt einen Blick in das Innenleben unseres Vielfachmeßgerätes, Den Mittelteil nehmen die Bauteile und Platinen der Netzgeräte ein. Links und rechts auf beiden Seiten sehen wir die Netztransformatoren. Links oben sind die beiden Umschaltrelais des Transistormeßgerätes zu erkennen, rechts oben die Potentiometer und die Bereichsschalter mit den dazugehörigen Kondensatoren. Auf dem Kühlblech finden wir die Vorwiderstände und die Diodenkette.
Das Gerät mit geöffneter Unterseite zeigt Tafel II, Abb. 4. Auf die gedruckte Schaltung links sind die Bauteile des Rechteckgenerators und des Ohmmeters montiert. Man erkennt, daß die Anschlüsse direkt zum Potentiometer und zu den Buchsen geführt sind. In der Mitte sehen wir das Doppelvoltmeter mit den Operationsverstärkern und rechts davon das Vierfachnetzgerät für die Operationsverstärker. Die Widerstände zur Meßbereichserweiterung der Strommesser liegen links und rechts von der Platine des Operationsverstärkers. Von allen Platinen sind die Verbindungen zu den Buchsen an der Frontplatte auf kürzestem Weg geführt. Die Verbindungen sind so angebracht, daß man jederzeit eine Platine abschrauben und daran arbeiten kann.

## Die Bearbeitung des Gehäuses

An Frontplatte, Chassis und Rückseite läßt sich gut arbeiten, da das ganze Gehäuse leicht zerlegbar ist. Falls wir keinen Kreisschneider besitzen, können wir die Bohrungen für die Anzeigeinstrumente mit einer Metall-Laubsäge aussägen. Die gesamte Gehäusekonstruktion muß für unser Multimeter etwas abgeändert werden. Die Originalfrontplatte des Gehäuses reicht in der Höhe für unsere Zwecke nicht aus. Deshalb verwenden wir sie als Kühlblech und schneiden aus 2-mm-Aluminiumblech eine Platte nach den in *Bild 5* angegebenen Maßen neu als Frontplatte zu. Sollte man nicht die Möglichkeit haben, mit einer Schlagschere mit Anschlag genau passend zuschneiden zu können, schneide man lieber etwas größer zu und feile dann die Platte passend.

Nach dem Anbringen aller Bohrungen wird die Frontplatte mit einem feinen Schmirgelpapier geschliffen und anschließend mit Seifenwasser abgewaschen. Diese Behandlung gibt ihr einen angenehmen Mattglanz, bei dem einzelne Kratzer nicht mehr zu sehen sind.

Das Chassis wird zunächst nach *Bild 6* mit allen nötigen Bohrungen versehen. Dann befestigen wir mit Alu-Winkeln 10×10×2 mm die Frontplatte. Um der Frontplatte festen Halt zu geben, werden beide Teile fest durch zwei Platten (siehe *Bild 7* und *7a)* miteinander verschraubt. Wir nehmen wieder Alublech 10×10×2 mm. Die Anfertigung dieser Bauteile erfordert einige Sorgfalt. Sie müssen äußerst exakt zugeschnitten werden. Zum Einbau ist zu empfehlen, daß man zunächst die Frontplatte senkrecht zum Chassis mit einem Anschlagwinkel festhält. Danach erfolgt die feste Verschraubung der beiden Seitenteile mit der Frontplatte und mit dem Chassis. Nun können wir die Rückwand am Chassis und an den beiden Seitenteilen befestigen.

Hat man genau gearbeitet, läßt sich jetzt das Oberteil des Gehäuses ohne Mühe bündig über das Ganze schieben.

Das Kühlblech wird nach *Bild 8* gebohrt. Man darf nicht ver-

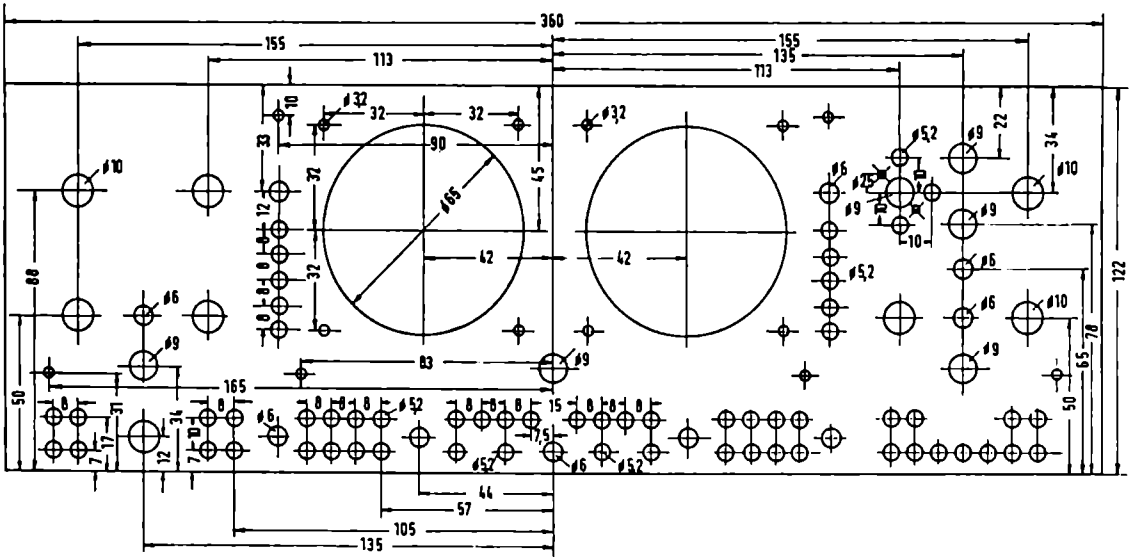



Bild 5. Frontplatte mit Maßangaben für die Bearbeitung

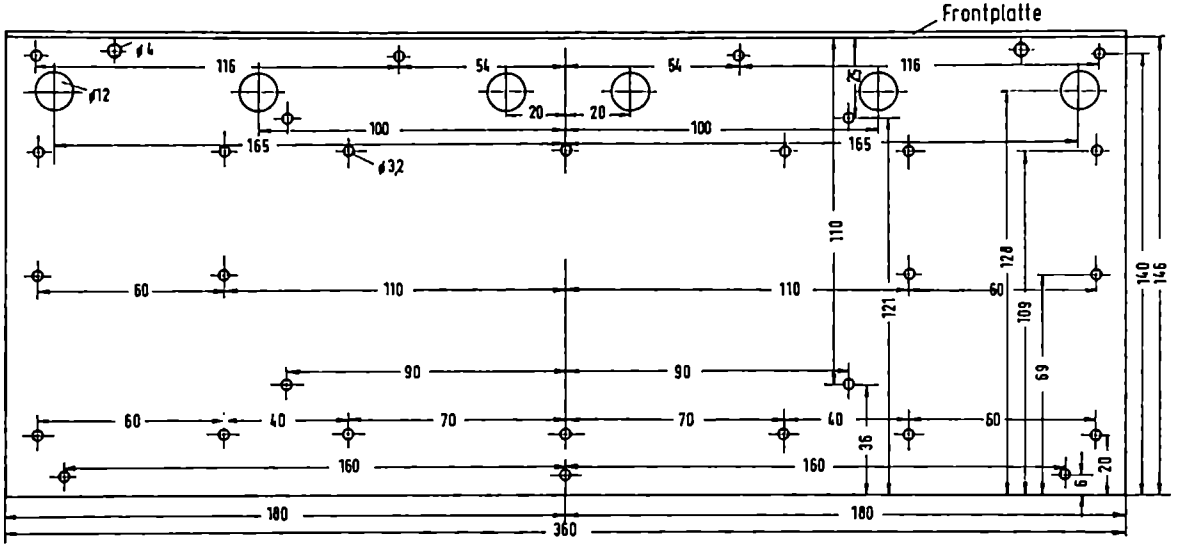



Bild 6. Das Chassis des Vielfachmeßgerätes

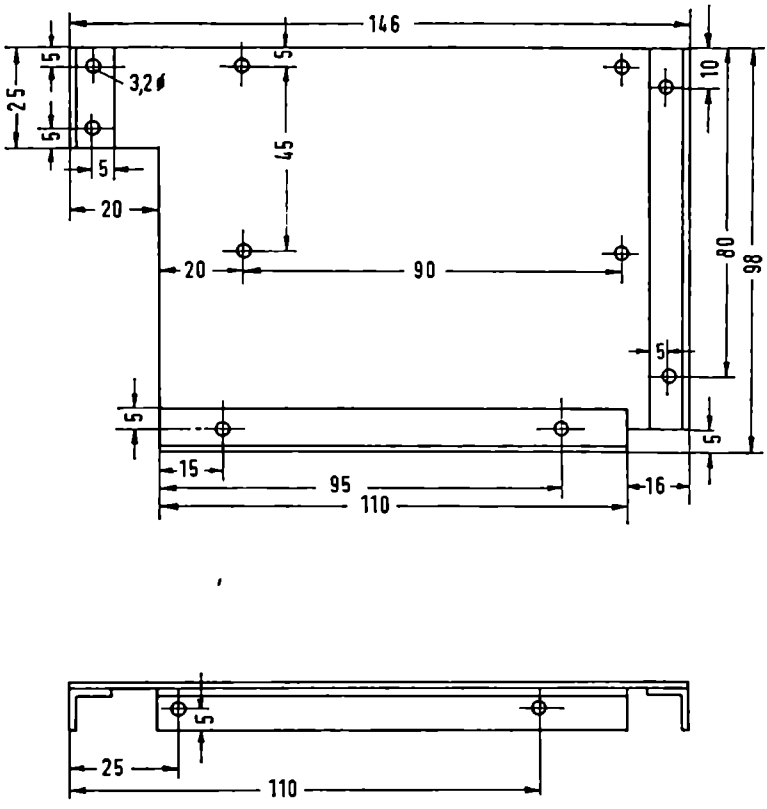



Bild 7. Bauteile zur Verankerung der Frontplatte

gessen, daß am Kühlblech auch die Lötleisten mit den Vorwiderständen und den Dioden befestigt werden müssen. Es sind die drei gleichen Lötleisten (Platinen) für die Widerstände (siehe *Bild 9*) und eine Lötleiste für die Dioden und Widerstände (siehe *Bild 10*).

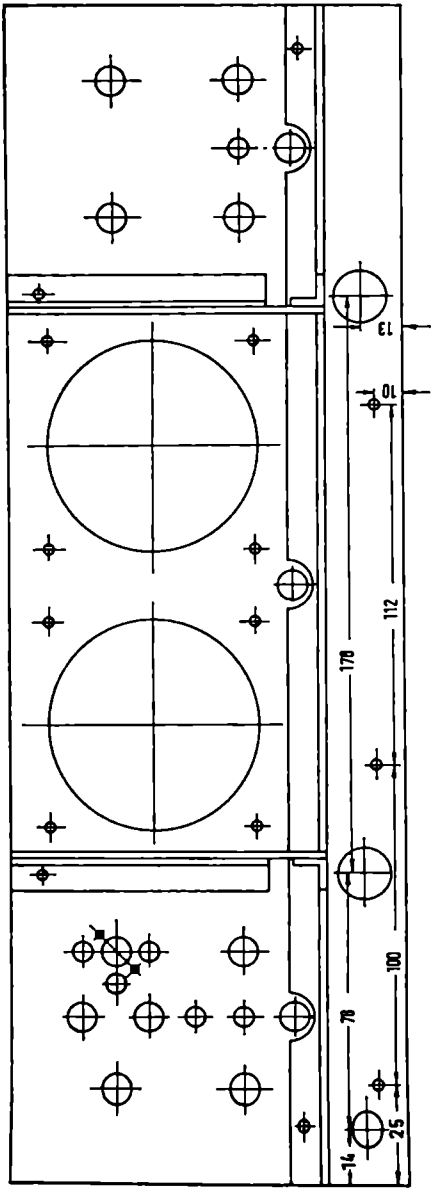



Bild 7a. Befestigung der Frontplatte am Chassis

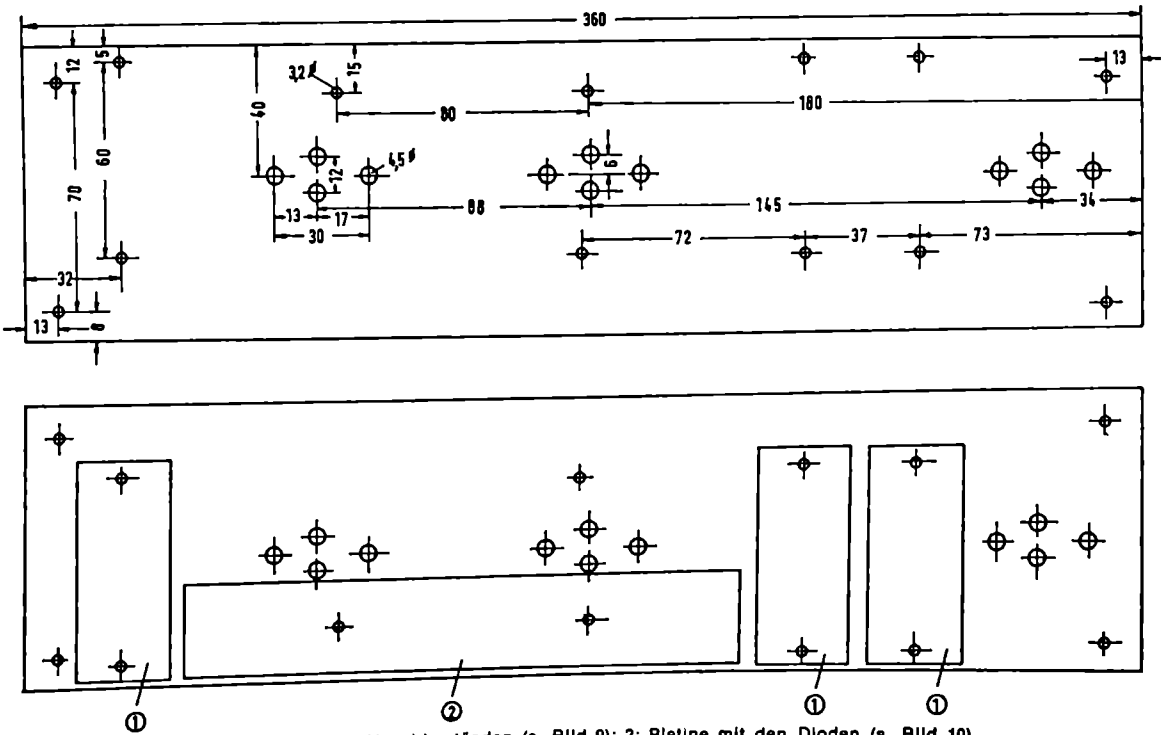



Bild 8. Kühlblech. 1: Platinen mit den Vorwiderständen (s. Bild 9); 2: Platine mit den Dioden (s. Bild 10)

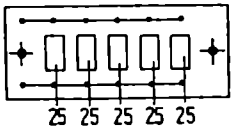
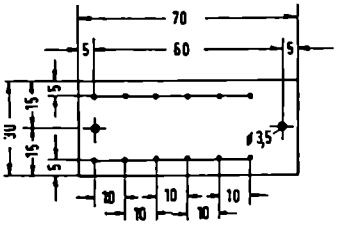
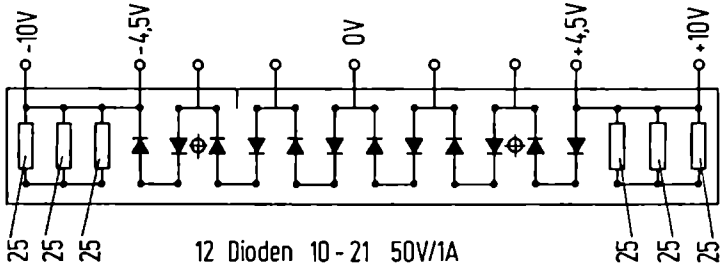



Bild 9. Bestückungsplan (oben) und gedruckte Schaltung (unten) für die 3 Platinen der Vorwiderstände R2, R7, R12 zum Netzgerät



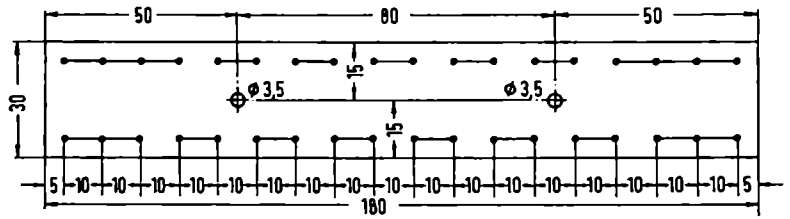




Bild 10. Bestückungsplan (oben) und gedruckte Schaltung (unten) für die Platine der Diodenschaltung zum Netzgerät nach Bild 11

# Regelbare Netzgeräte zur Stromversorgung

Die Schaltung des Netzteiles ist in *Bild 11* dargestellt. Zwei Netztransformatoren 1 und 2 liefern die benötigte Wechselspannung von dreimal 25 V 1 A. Die beiden Brückengleichrichter mit den Dioden $D_{1-8}$ glätten die Wechselspannung und laden die Kondensatoren $C_1$ und $C_6$ auf. Über die Vorwiderstände $R_2$ und $R_7$ gelangt die Gleichspannung an die Siebkondensatoren $C_2$ und $C_7$ (man achte beim Einbau sorgfältig auf die Polung) und gleichzeitig an die Transistoren $T_1$, $T_2$, $T_3$ und $T_4$. Die Zenerdioden $ZD_1$ und $ZD_2$ sind über $R_1$, $C_3$ und $R_6$, $C_9$ sowie die Vorwiderstände $R_3$ und $R_8$ an die Spannung gelegt. Wir erhalten einen Querstrom, der mit den Widerständen $R_3$ und $R_8$ eingestellt wird und in der Größenordnung von 10—15 mA liegen sollte. Wir steuern nun mit unserer stabilisierten Spannung über die Potentiometer $P_1$ und $P_2$ die Basis der Transistoren $T_1$ und $T_3$ an. Diese öffnen, sobald die Spannung an $C_4$ und $C_9$ etwa 0,7 V erreicht. Bei voll aufgedrehtem Potentiometer kann man am Emitter der Transistoren eine Spannung messen, die um 0,7 V kleiner ist als die Spannung an der Basis, also der Zenerdiode. Die Stromverstärkung der verwendeten Transistoren liegt in der Größenordnung von 50, d. h., bei einem Basisstrom von 1 mA fließt ein Emitter-Kollektor-Strom von 50 mA. Dieses Potential genügt auch, die beiden Leistungstransistoren $T_2$ und $T_4$ leitend zu machen. Die in den Emitterkreis geschalteten Widerstände $R_4$ und $R_9$ leiten den Reststrom der beiden Transistoren ab. $C_5$ und $C_{10}$ verhindern ein wildes Schwingen der Schaltung.
Die maximale Spannung am Netzgerät ist:
ZD-Spannung — 2 × 0,7 V; in unserem Fall sind das 10,6 V. Im oberen Bereich erreichen wir eine bessere Spannungsstabilisierung als im unteren Bereich, da der Spannungsabfall am Potentiometer, verursacht durch den Basisstrom des Transistors $T_1$ und $T_3$, in die Stabilisierung eingeht. Dieser Spannungsabfall spielt aber für den Zweck unseres Netzgerätes eine vernachlässigbar kleine Rolle. Ein Kurzschluß von geringer Dauer richtet kei-

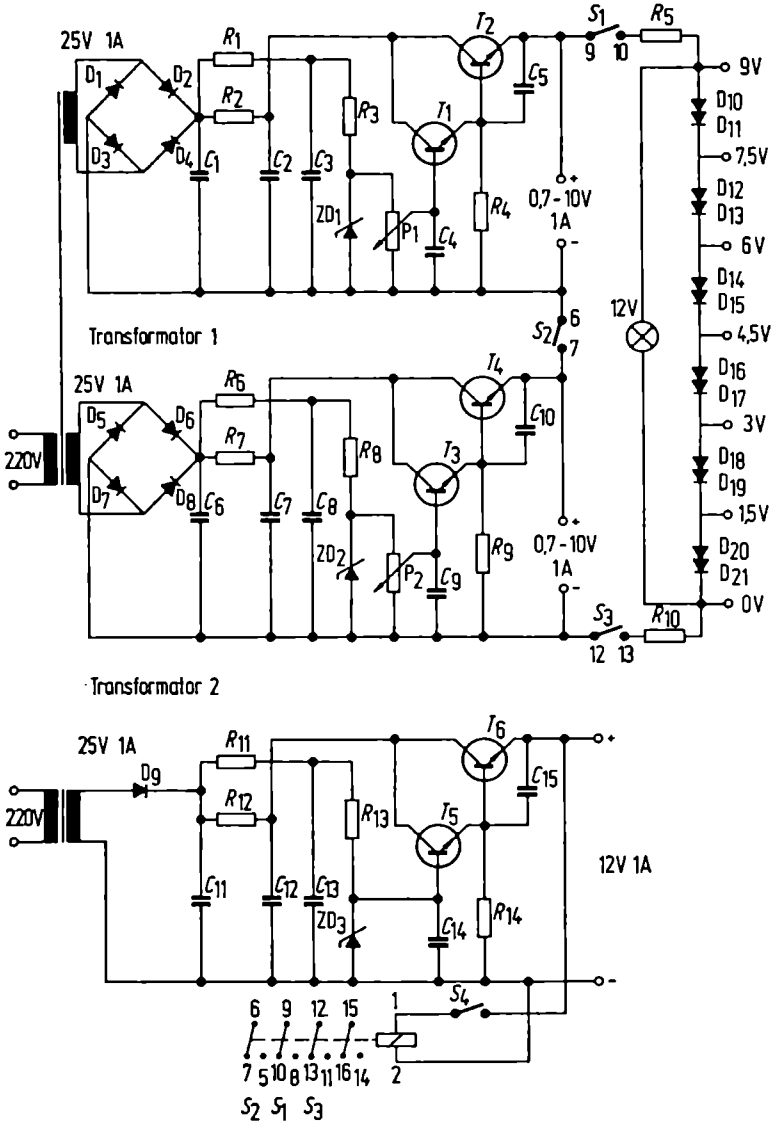

25V 1A
D1
D2
D3
D4
R1
R2
C1
C2
C3
R3
T1
T2
C5
ZD1
P1
C4
R4
S1
9
10
R5
9V
D10
D11
7,5V
D12
D13
6V
D14
D15
4,5V
D16
D17
3V
D18
D19
1,5V
D20
D21
0V
12V
0,7 - 10V
1A
S2
6
7
Transformator 1
25V 1A
D5
D6
D7
D8
R6
R7
C6
C7
C8
R8
T3
T4
C10
ZD2
P2
C9
R9
0,7 - 10V
1A
S3
12
13
R10
220V
Transformator 2
25V 1A
D9
R11
R12
C11
C12
C13
R13
T5
T6
C15
ZD3
C14
R14
12V 1A
S4
6
9
12
15
1
7
5
10
8
13
11
16
14
2
S2
S1
S3

Bild 11. Schaltplan der regelbaren Netzgeräte 10V / 1A und 12V / 1A

**Stückliste zu Bild 11**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $R_1$, $R_4$, $R_{11}$ | 150 Ω | 0,5 W | | |
| $R_2$, $R_7$, $R_{12}$ | 5 Ω | 5 W | je 5 Stück 25 Ω | 1 W |
| $R_3$, $R_8$, $R_{13}$ | 1,5 kΩ | 0,5 W | | |
| $R_4$, $R_9$, $R_{14}$ | 1,4 kΩ | 0,5 W | | |
| $R_5$, $R_{10}$ | 8 Ω | 3 W | je 3 Stück 25 Ω | 1 W |
| $C_1$, $C_2$, $C_6$, $C_7$ | Elyt | 2500 µF | 35/40 V | |
| $C_3$, $C_8$, $C_{11}$, $C_{13}$, $C_{15}$ | Elyt | 1000 µF | 35/40 V | |
| $C_4$, $C_9$ | Elyt | 25 µF | 35/40 V | |
| $C_5$, $C_{10}$, $C_{14}$, $C_{16}$ | Elyt | 50 nF | 50 V | |
| Dioden 1 – 21 | 50 V 1 A | | | |
| Z-Dioden 1,2 | 12 V 400 mW | | | |
| Z-Dioden 3 | 15 V 400 mW | | | |
| $T_1$, $T_3$, $T_5$ | BSX 72 BC 140 | | | |
| $T_2$, $T_4$, $T_6$ | 2 N 3055 | | | |
| $P_1$, $P_2$ | 1 kΩ 20 mm Φ | | | |

2 Stück Drehknöpfe für $P_1$ und $P_2$
1 Relais Siemens Type Kammrelais 12 V mit Fassung
1 Doppelpol-Umschalter, Fa. Knitter (Netzschalter Ein)
$S_4$ Kippschalter, Fa. Knitter
2 Stück Miniaturlämpchen 12 V mit Fassung
11 Stück Buchsen 2,4 mm
11 Stück Lötfahnen 4 mm
Schrauben und Muttern M3 und M4

nen Schaden an, denn Leistungstransistor und Steuertransistor sind durch die beiden Vorwiderstände geschützt. Man sollte für die Transistoren $T_2$ und $T_4$ einen Typ verwenden, der mindestens 1000 mA $I_{CE}$ leiten kann.

Sollten Schaltungen gemessen werden, bei denen die Möglichkeit eines länger dauernden Kurzschlusses besteht, sei empfohlen, an die Kondensatoren $C_3$ und $C_8$ den Kollektor der Transistoren $T_1$ und $T_3$ zu legen. Damit werden bei einem Kurzschluß $R_1$ und $R_6$ zum Vorwiderstand von $T_1$ und $T_3$. Die Stabilisierung ist dann zwar ab 0,5-A-Stromentnahme etwas schlechter, aber wir erreichen mehr Sicherheit gegen Überlastung.

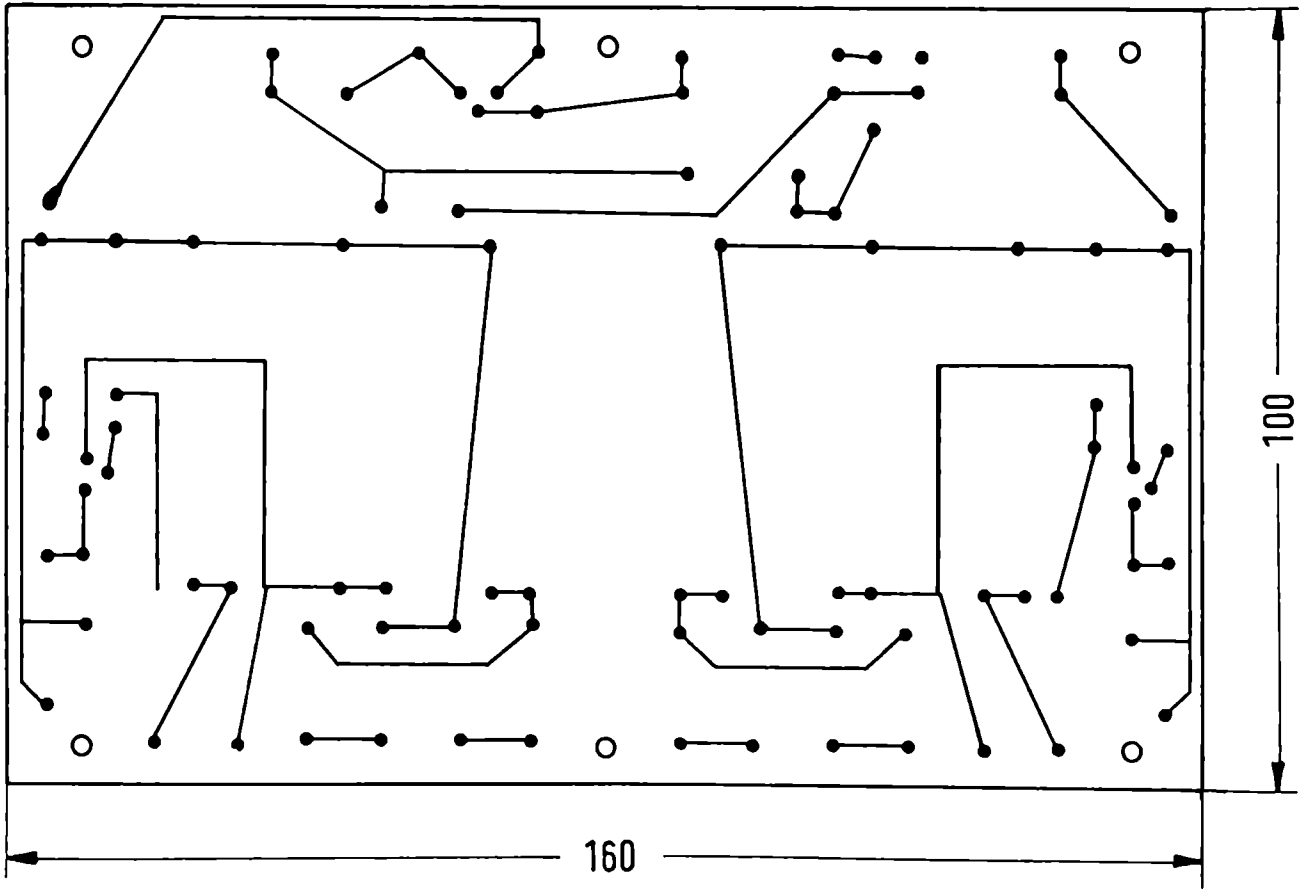
Die 12-Volt-Schaltung in Bild 11 unten arbeitet nach dem gleichen Prinzip. Im Unterschied zu den oben beschriebenen Netzgeräten wird jedoch hier mit nur einer Diode $D_9$ die Wechselspannung gleichgerichtet, und die Zenerdiode hat eine höhere

Spannung. Dieses dritte Netzgerät versorgt auch die Umschaltrelais unseres Multimeters. Wird der Schalter $S_4$ eingeschaltet, zieht das Relais an, die Kontakte 9 und 10, 6 und 7, 12 und 13 werden geschlossen.
Über die Widerstände $R_5$ und $R_{10}$ schließen wir die Diodenkette $D_{10}$ bis $D_{21}$ an und schalten die Netzteile hintereinander. Beide Spannungsregler $P_1$ und $P_2$ müssen voll aufgeregelt sein, wenn das Lämpchen an den beiden äußeren Dioden aufleuchten soll. Dieses Aufleuchten ist dann auch gleichzeitig die EIN-Anzeige für das Transistormeßgerät.

## Die Herstellung der gedruckten Schaltung

Wir versehen unsere Platine 100 × 160 mm (Europaformat) nach *Bild 12* mit 6 Bohrungen. Diese Bohrungen müssen genau mit den Bohrungen des Chassis übereinstimmen. Deshalb sollte man die Platine vor dem Ätzen versuchsweise auf das Chassis montieren, um festzustellen, ob sie sich ohne Schwierigkeiten an- und abschrauben läßt (siehe *Bild 13*). — Falls nach dem Ätzen und der Teilemontage noch mechanische Arbeiten durchgeführt werden müssen, läuft man Gefahr, ein Bauteil zu beschädigen. — Diesen Vorgang sollte man mit allen Platinen wiederholen. Die gedruckte Schaltung ist im Maßstab 1 : 1 wiedergegeben (Bild 12), so daß sich beim Übertragen auf die — selbstverständlich vorher gereinigte — Platine kaum Schwierigkeiten ergeben können. Handelt es sich allerdings um ein Erstlingswerk, sollte man sich zunächst ausführlich mit der Technik der Herstellung gedruckter Schaltungen vertraut machen. Dazu eignet sich beispielsweise das im gleichen Verlag erschienene Bändchen der Reihe TELEKOSMOS-HOBBY-ELEKTRONIK mit dem Titel „25 Schaltungen mit einer Platine" vom gleichen Verfasser. — Nach dem

Bild 12. Gedruckte Schaltung zu den regelbaren Netzgeräten (Bild 11)


100
160

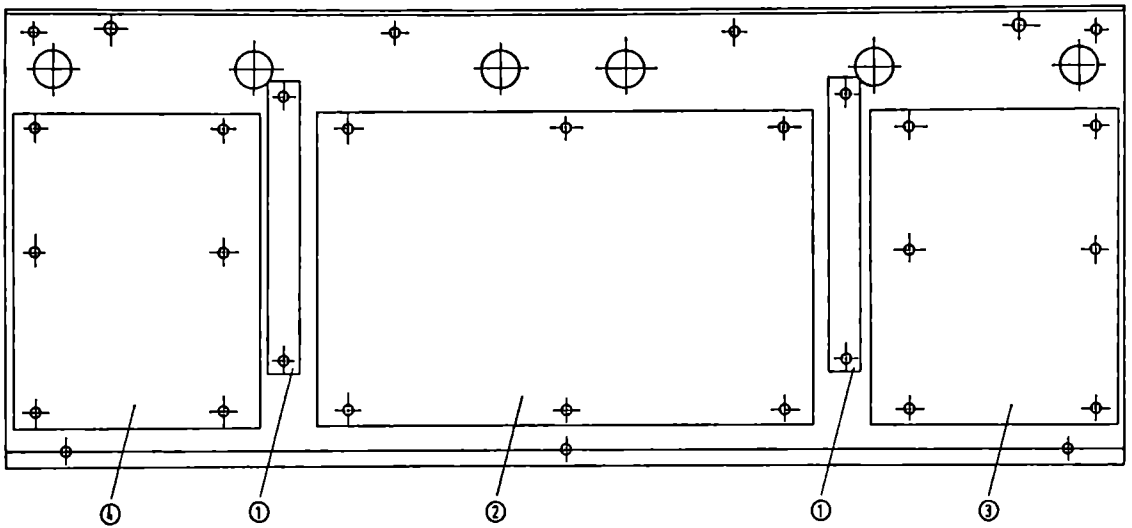



Bild 13. Das Chassis mit den verschiedenen Platinen. 1: Platine mit Widerständen, Bild 17; 2: Voltmeter mit Operationsverstärker, Bild 27; 3: Netzgerät zum Voltmeter mit Operationsverstärker, Bild 31; 4: Rechteckgenerator zum Ohmmeter, Bild 36

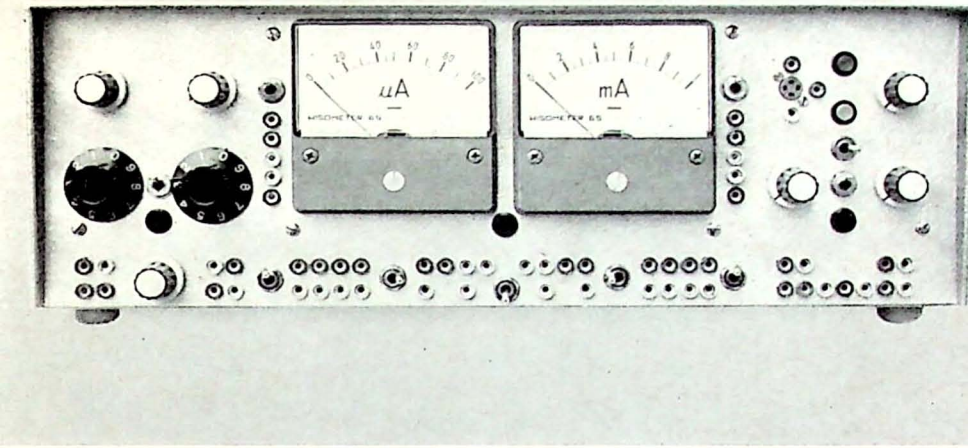
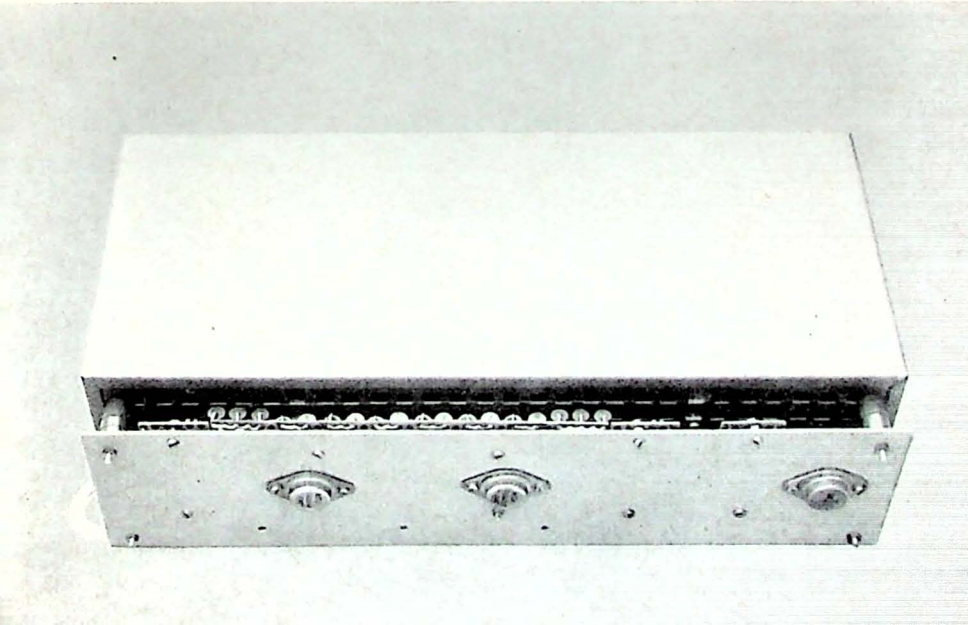



Abb. 1 Frontansicht des Multimeters

**Tafel 1**

Abb. 2. Die Rückseite des Multimeters



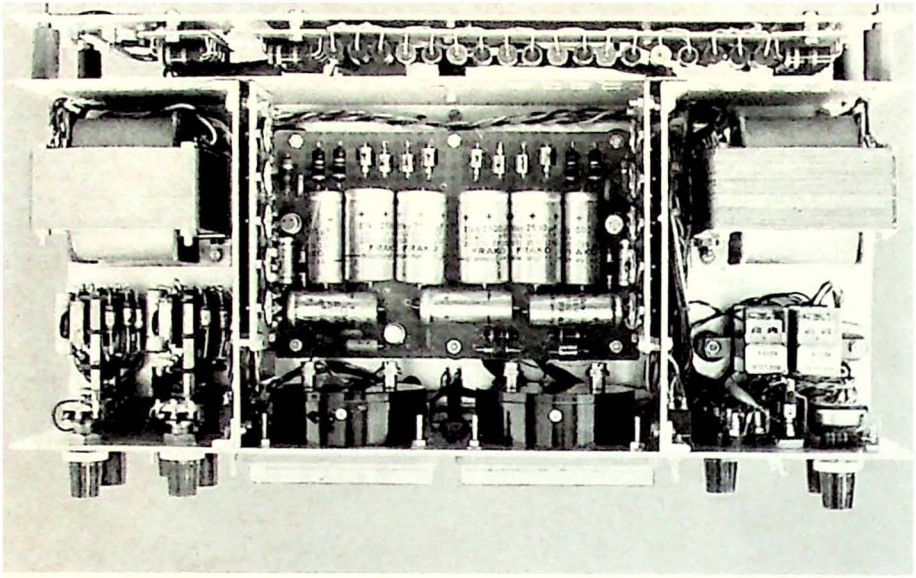
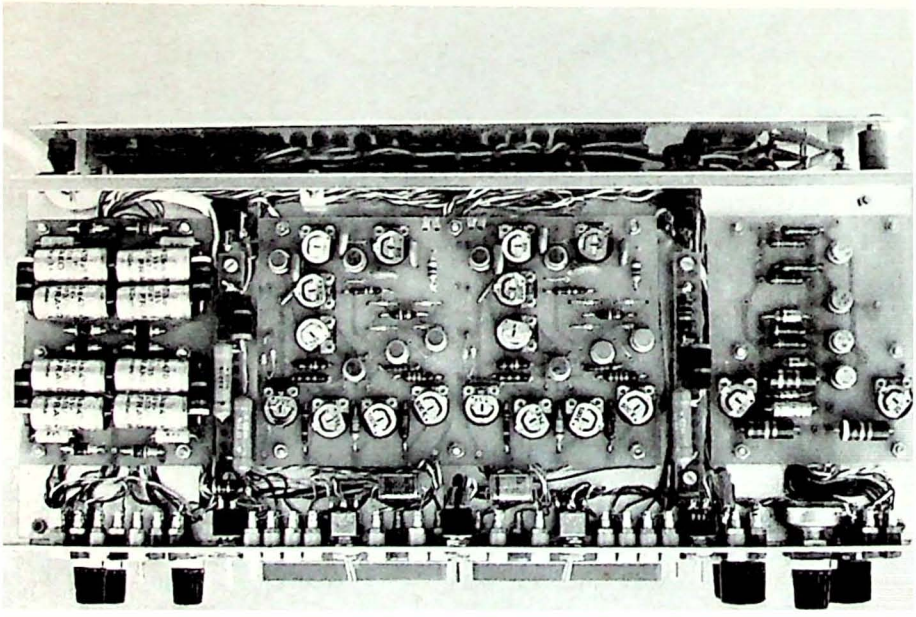


Abb. 3. Das Multimeter ohne Gehäuse, von oben gesehen

**Tafel 2**

Abb. 4. Das Gerät mit geöffneter Unterseite



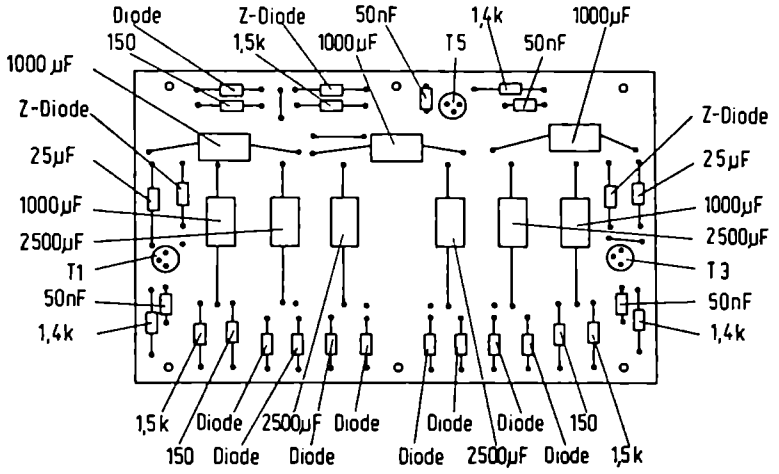
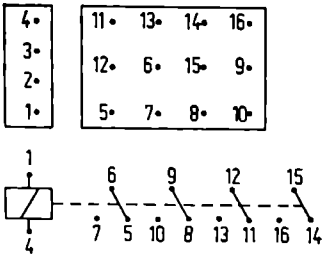



Bild 14. Bestückungsplan zu den Netzgeräten nach Bild 11

Ätzen der Platine wird diese wiederum gereinigt und nach *Bild 14* mit Bauteilen bestückt.

## Montage der Frontplatte

Der Zusammenbau des Gerätes läßt sich wesentlich vereinfachen, wenn man dabei systematisch vorgeht. Man sollte unbedingt mit der Verdrahtung der Wechselspannungen beginnen. Verschiedene Drahtfarben erleichtern dabei wesentlich die Arbeit. Im Anschluß daran nehmen wir die Frontplatte in Angriff. Wegen der gedrängten Bauweise empfiehlt es sich, zunächst Verbindungsleitungen an die Kippschalter und an die Buchsen zu löten und diese erst dann an die Frontplatte zu montieren. Man achte dabei auf die erforderliche Länge der Leitungen, für die sich in An-




Netztransformator 1 M 74 50 VA
Wickeldaten: primär
220 V 1210 Wdg 0,35 ⌀ CuI
sekundär
25 V 150 Wdg 1 A 0,65 ⌀ CuI
25 V 150 Wdg 1 A 0,65 ⌀ CuI

Bild 15. Verdrahtung der Schaltrelais S 1, 2, 3 der Netzgeräte (Bild 11) von unten gesehen

betracht der kleinen Ströme 0,5-mm-Schaltdraht oder -litze gut eignen. Lediglich die Netzspannungsleitungen sollten mit stärkerer Litze ausgeführt werden. Vor der Montage an das Chassis werden die Meßgeräte eingebaut.

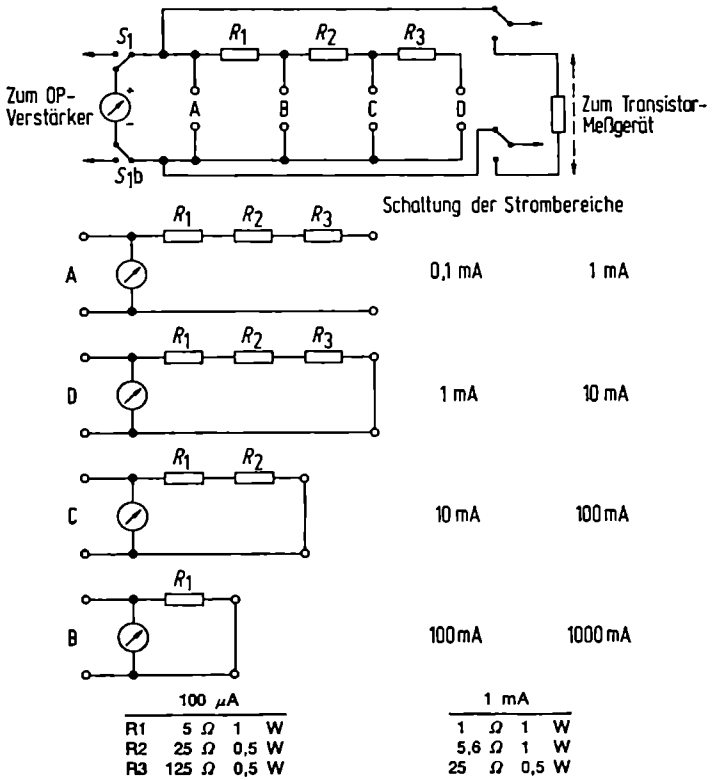
Haben wir die Frontplatte soweit vormontiert, können wir sie an das Chassis anschrauben.

Die Verbindungen zu den Leistungstransistoren, den Vorwiderständen und zur Diodenkette führen wir durch Bohrungen in der Rückfront des Chassis zu dem vorgesetzten Kühlblech. Unsere Leistungshalbleiter 2 N 3055, die Transistoren $T_2$, $T_4$ und $T_6$ werden zur Isolation mit Glimmerscheiben an dem Kühlblech montiert. Erst wenn wir mit einem Ohmmeter die Isolation geprüft haben, schließen wir sie ans Netzgerät an. Ebenso ist jedes Netzgerät einzeln zu prüfen, ob es auch richtig arbeitet, bevor man die Relaiskontakte anschließt. Die Verdrahtung der Relaisfassung von unten gesehen zeigt *Bild 15*. Es folgt als letztes der Anschluß der einzelnen Leitungen an die Diodenkette.

Die fertig verdrahtete Schaltung überprüfen wir mit einem Belastungswiderstand von 10 Ω oder 20 Ω 10 W. Hierbei kann man 100-Ω-Widerstände mit je 1 W Belastbarkeit zusammenschalten. Die Spannung wird, je nach der Schaltung der Transistoren $T_1$ und $T_3$, bei 0,5 oder 1,0 A um maximal 5—10% abfallen. Die Netzgeräte sind für eine Stromentnahme von 0,3—0,5 A gedacht. In diesem Bereich stabilisiert das Netzgerät mit weniger als 2% Spannungsdifferenz und genügt damit allen gestellten Anforderungen. Bei 5% Spannungsdifferenz kann das Netzgerät

einen Dauerstrom von 1 A abgeben. Man sollte dann aber vorher die Diodenstrecken abschalten. Bei eingeschalteten Dioden sollte man einen Dauerstrom von 0,5 A nicht überschreiten.

## Meßbereichserweiterung der Anzeigeinstrumente




| | 100 µA | |
|---|---|---|
| R1 | 5 Ω | 1 W |
| R2 | 25 Ω | 0,5 W |
| R3 | 125 Ω | 0,5 W |

| | 1 mA | |
|---|---|---|
| | 1 Ω | 1 W |
| | 5,6 Ω | 1 W |
| | 25 Ω | 0,5 W |

Bild 16. Erweiterung des Meßbereichs für Strommessungen

**Stückliste zu Bild 16**

100 $\mu$A

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $R_1$ | 5 $\Omega$ | 1 W | $R_1$ | 1 $\Omega$ | 1 W |
| $R_2$ | 25 $\Omega$ | 0,5 W | $R_2$ | 5,6 $\Omega$ | 1 W |
| $R_3$ | 125 $\Omega$ | 0,5 W | $R_3$ | 25 $\Omega$ | 0,5 W |

16 Stück Buchsen 2,4 mm
16 Stück Lötfahnen 4 mm
2 Stück Doppelpol-Umschalter, Fa. Knitter
2 Stück Kurzschluß-Bügel 2,4 mm

Wie schon gesagt, hat unser Multimeter zwei Anzeigeinstrumente, die wir mit einem Kippschalter ($S_1$ in Bild 16) wahlweise als Strom- oder Spannungsmesser schalten. Wir möchten nun den Meßbereich für Strommessungen erweitern. Das erreichen wir, wie *Bild 16* zeigt, durch Parallelschaltung von Widerständen. In der in Bild 16 gezeigten Schaltstellung ist keiner der Widerstände $R_1$, $R_2$, $R_3$ dem Anzeigeinstrument parallelgeschaltet: Wir messen bei Vollausschlag 100 $\mu$A oder 1 mA. Man kann nun mit einem Kurzschlußbügel dem Instrument nacheinander die drei Widerstände parallelschalten. Stecken wir den Kurzschlußbügel in A, fließt darüber der gesamte Strom; wir haben das Instrument überbrückt. Wird B überbrückt, liegt $R_1$ parallel zum Instrument. Der Hauptstrom fließt über den Widerstand, ein geringer Teil über das Instrument. Mit den Schaltstellungen C und D vermindern wir den Stromfluß durch das Anzeigeinstrument durch entsprechende Wahl von $R_2$ und $R_3$ jeweils zusätzlich um den Faktor 10. Und damit haben wir die Möglichkeit, Ströme von 0,1 mA bis 100 mA und 1 mA bis 1 A zu messen. Die Strommesser können mit dem zweiten Kippschalter vom Transistormeßgerät getrennt werden.

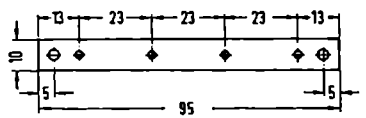



Bild 17. Lötleiste zur Befestigung der Widerstände R1, R2, R3 nach Bild 16

Die einzelnen Widerstände werden auf einer Lötleiste befestigt (siehe *Bild 17*). Beide Widerstandsleisten haben direkte Leitungsverbindungen zur Frontplatte.

Es sei dem Leser freigestellt, wie er die Meßbereiche festlegt.

Der Verfasser hat mit verschiedenen Meßbereichen Versuche gemacht. Da die Meßinstrumente untereinander eine kleine Toleranz aufweisen, sind in der Stückliste für die Widerstände nur Richtwerte angegeben. Als sehr brauchbar für die praktische Arbeit haben sich auch folgende Unterteilungen erwiesen: 0,1 mA 1 mA, 3 mA 10 mA und 1 mA 30 mA, 100 mA 300 mA.
Grundsätzlich gilt für Strommessungen: Stets mit dem größten Meßbereich beginnen und schrittweise auf kleinere Meßbereiche umstecken. Dabei muß man die Spannung abschalten oder mit zwei Kurzschlußsteckern arbeiten. Man steckt den zweiten Stecker ein und entfernt die Verbindung vom vorher gesteckten Meßbereich.

## Das Transistorprüfgerät

Die bereits in den vorhergehenden Kapiteln kurz angedeuteten Möglichkeit einer Transistormessung mit einem Durchgangsprüfer kann man nur bei Leistungstransistoren, aber keinesfalls bei schnellschaltenden 300- oder 700-Milliwatt-Transistoren anwenden. Deshalb statten wir unser Vielfachmeßgerät mit einem Transistorprüfgerät aus, das mehrere Meßmöglichkeiten bietet:

Messung des Basisstromes $I_{EB}$,
Messung des Kollektorstromes $I_{CE}$,
Messung der Stromverstärkung — statisch,
Messung der Stromverstärkung — dynamisch,
Reststrommessung,
Messung der Spannungsverstärkung,
Festlegung des Arbeitspunktes — dynamisch,
Umschaltung von PNP auf NPN,
Diodenmessungen und
Zenerdiodenmessungen.

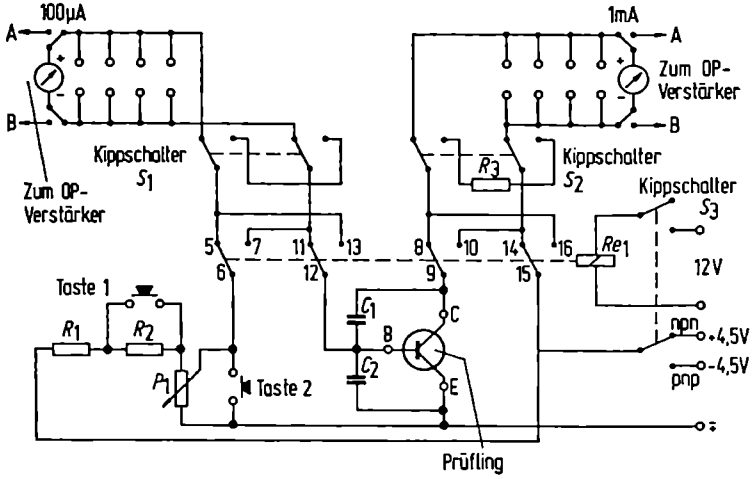



Bild 18. Schaltplan des Transistorprüfgerätes

**Stückliste zu Bild 18**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $R_1$ | 2,7 kΩ | 0,5 W | |
| $R_2$, $R_3$ | 470 Ω | 0,5 W | |
| $C_1$, $C_2$ | 50 nF | 50 | |
| $P_1$ | 500 Ω | 200 mm ϕ mit Drehknopf | |

2 Drucktasten Ein-Kontakt
1 Siemens-Kammrelais 12 V mit Fassung
1 Transistor-Fassung TO – 39
3 Doppelpol-Umschalter, Fa. Knitter
3 Miniaturbuchsen 2,4 mm rot, blau, grün
3 Lötfahnen 4 mm

Befassen wir uns zunächst mit der in *Bild 18* dargestellten Schaltung. Die Spannung des Netzgerätes, in unserem Fall sind es die Spannungen der Diodenkette, liegt durch Mittelabgriff über die Nulleitung am Emitter. Mit einem Kippschalter wählen wir jeweils die benötigte Spannung von +4,5 V bei NPN-Transistoren oder —4,5 V bei PNP-Transistoren. Sie gelangt über die Relaiskontakte und über die Meßinstrumente an die Basis und an den Emitter.

Verfolgen wir nun zuerst den Weg des Stromes vom Emitter zur Basis. Über $R_1$, $R_2$ und das Potentiometer $P_1$ wird der eingestellte Basisstrom an den Kontakt 6 geführt; Kontakt 6 ist mit Kontakt 5 verbunden, wenn wir einen NPN-Transistor, mit Plus am Kollektor und an der Basis, prüfen. Über den Kippschalter $S_1$ und das Mikroamperemeter gelangt der Basisstrom an die Kontakte 11 und 12 und von hier aus an die Basis des Prüftransistors. $R_1$ und $R_2$ sind so bemessen, daß der maximale Basisstrom 100 $\mu$A nicht übersteigt. Der Strom läßt sich von 0—100 $\mu$A mit dem $P_1$ einstellen. Drückt man nun Taste 1, wird $R_2$ überbrückt. Wir können so einen Basisstromsprung schalten und dabei die Änderung des Kollektorstromes messen. Bei Reststrommessungen drückt man die Taste 2. Dabei muß der Kollektorstrom auf 0 mA zurückgehen.

Der Kollektorstromkreis führt über die Kontakte 15 und 14 und über den Kippschalter $S_2$ an das Milliamperemeter. Von hier aus geht die Verbindung wiederum über den Kippschalter $S_2$ an die Relaiskontakte 8 und 9 zum Kollektor. Sollte der Kollektorstrom größer als 1 mA sein, müssen wir die Meßbereichserweiterung zu Hilfe nehmen. Die Kondensatoren $C_1$ und $C_2$ verhindern ein Schwingen der Schaltung.

Die Stromverstärkung läßt sich einfach berechnen, indem man den Kollektorstrom durch den Basisstrom dividiert. Haben wir im oben geschilderten Fall die Stromverstärkung nach der statischen Methode bestimmt, so können wir auch dynamische Messungen machen, indem wir $S_2$ umschalten und damit statt des Milliamperemeters einen Kollektorwiderstand $R_3$ in den

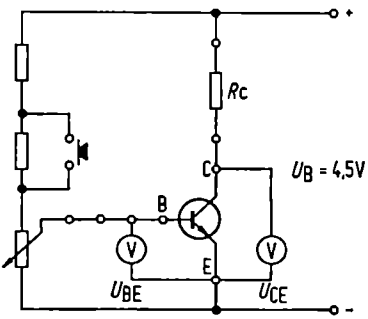



Bild 19. Meßschaltung der Spannungsverstärkung

$$V = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta U_{BE}}$$

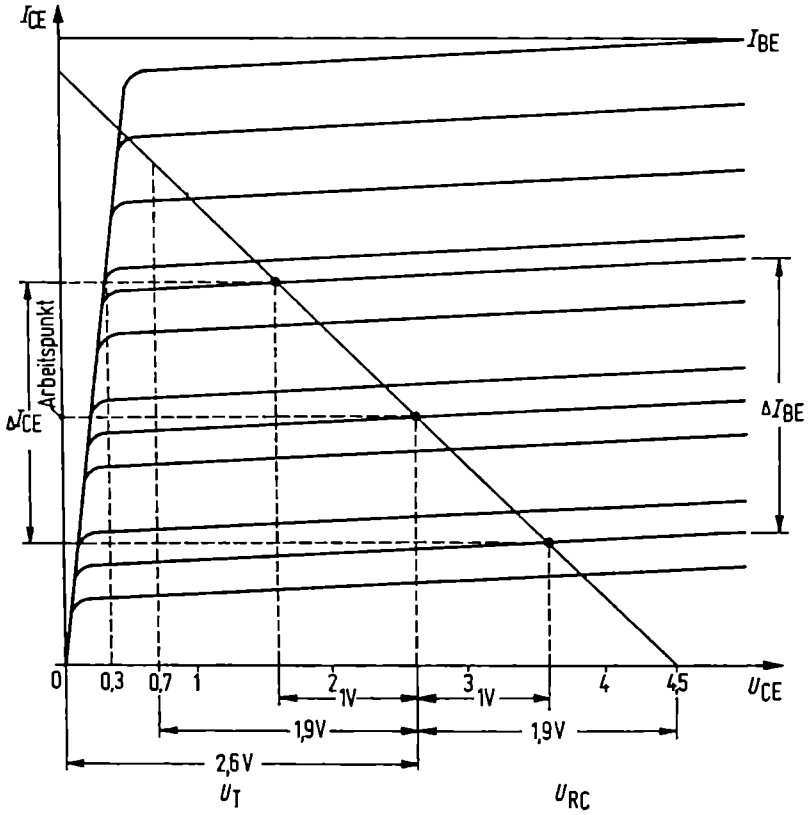



Bild 20a. Einstellen des Arbeitspunktes

Stromkreis einschalten. Den Kippschalter am Milliamperemeter legen wir auf die Stellung Operationsverstärker um und schließen diesen mit zwei Meßleitungen an Emitter und Kollektor an. Das vereinfachte Schaltbild für den Anschluß des OP-Voltmeters an den Kollektor zeigt *Bild 20b*. Ist das Potentiometer $P_1$ unten am Anschlag, erhält die Basis des Transistors keinen Strom, der

Transistor leitet nicht, da er sehr hochohmig ist. Da auch das OP-Voltmeter mit ca. 100 kΩ/V bzw. 1 M/V einen sehr hohen Innenwiderstand hat, messen wir am Kollektor die volle Netzgerätespannung von +4,5 V. Um nun den Arbeitspunkt zu bestimmen *(Bild 20a)*, dreht man das Potentiometer langsam auf und stellt fest, daß unser Siliziumtransistor erst ab 0,6—0,7 V leitend wird. Aus dem gezeigten Beispiel sehen wir, daß bei 2,7 V $U_{CE}$ der richtige Basisstrom erreicht wurde.

Messen wir Germaniumtransistoren, liegt die Basisspannung in der Größenordnung von 0,2—0,3 V. Durch Änderung des Basisstromes um einige Mikroampere nach oben und nach unten kann man die Spannungsverstärkung des Transistors messen. Eine andere Möglichkeit der Spannungsverstärkungs-Messung ergibt sich, wenn wir das Basismeßinstrument, das Mikroamperemeter, abschalten und als OP-Voltmeter an die Schaltung anschließen (siehe *Bild 19*). Beim Umschalten des Kippschalters $S_1$ ändert sich die Einstellung, da wir den inneren Widerstand des Mikroamperemeters abschalten und durch eine direkte Verbindung ersetzen. Wir stellen mit dem Potentiometer $P_1$ die Kollektorspannung ein, bei NPN 2,7 V und bei PNP 2,1 V, und messen die Basisspannung, die sich ergibt. Jetzt ändern wir die Basisspannung nach beiden Seiten, bis sich die Kollektorspannung um +1 V oder —1 V vom eingestellten Wert ändert, und halten dabei die Änderung der Basisspannung fest. Die Spannungsverstärkung berechnen wir nach der in Bild 19 aufgeführten Formel.

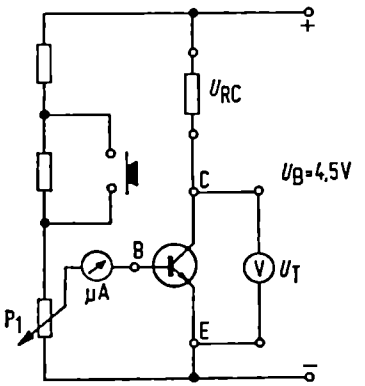



Bild 20b. Meßschaltung der Stromverstärkung

Stromverstärkung $B = \frac{\Delta I_{CE}}{\Delta I_{CE}}$

Diese Messung kann auch statisch erfolgen. Dazu wird das Milliamperemeter umgeschaltet, um festzustellen, wie sich die Basisspannung ändern muß, damit der Transistor durchschaltet. Solche Messungen sind sehr wichtig, wenn man Versuchsschaltungen mit Transistoren aufbaut, bei denen es darauf ankommt, den EIN- oder AUS-Vorgang genau einzuhalten.

Mit dem Transistormeßgerät können auch Dioden gemessen werden. Die Meßanordnung zeigt *Bild 21*. Statt des Transistors wird in die Basis-Emitter-Buchsen eine Diode gesteckt. Das Mikroamperemeter im Basisstromkreis zeigt den Diodenstrom an.

Das Milliamperemeter wird an den Operationsverstärker angeschlossen und als Voltmeter an die Diode gelegt. Dadurch kann man den Zeitpunkt, an dem der Strom einsetzt, genau messen. Bei Germaniumtransistoren (Germaniumdioden) wird der Strom ab 0,3 V fließen und bei Siliziumtransistoren ab 0,7 V. In Sperrrichtung darf kein Strom fließen.

Zenerdioden werden mit einer Schaltung, wie sie *Bild 22* zeigt, geprüft. An ein regelbares Netzgerät mit 10 V werden in Reihe die Z-Diode, ein Widerstand von 1 k$\Omega$ und das Milliampere-

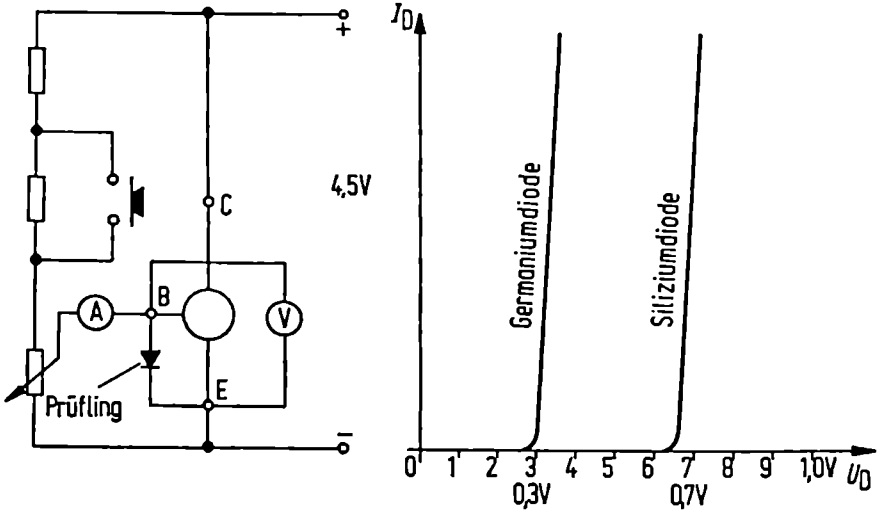



Bild 21. Meßschaltung für Dioden

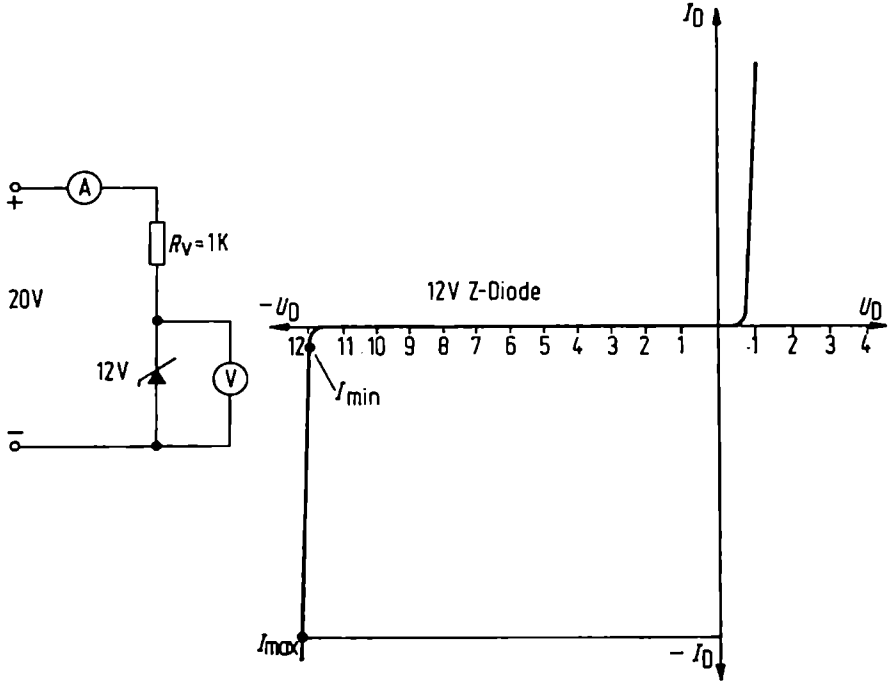



Bild 22. Meßschaltung für Zenerdioden

meter angeschlossen. Parallel zur Z-Diode schalten wir ein OP-Voltmeter. Bei falscher Polung der Z-Diode arbeitet diese wie eine normale Diode und läßt ab 0,3 V oder 0,7 V den Strom durchfließen. In umgekehrter Richtung sperrt sie. Eine richtig angeschlossene Z-Diode ist bis zum Erreichen der Durchbruchsspannung sehr hochohmig, d. h., auch bei zunehmender Spannung fließt kein Strom. Der nach Erreichen der Durchbruchsspannung fließende Strom wird größer, wenn man die Spannung am Netzgerät weiter aufregelt. Dagegen bleibt die Spannung an der Z-Diode nahezu stabil; sie ändert sich im Maximalfall um 5—10% gegenüber der Durchbruchsspannung.

Sollen Z-Dioden mit höherer Durchbruchsspannung gemessen werden, schaltet man zwei Netzgeräte hintereinander. Ohne den 1-kΩ-Vorwiderstand sollte man keine Messungen machen, denn

im Durchbruchsbereich ist die Z-Diode sehr niederohmig. Wenige Millisekunden mit voller Belastung würden genügen, sie zu zerstören.

Die Verdrahtung des Transistormeßgerätes erfolgt vorwiegend an der Frontplatte, direkt an den Buchsen der Transistorfassung und der dazugehörigen Schalter. Die einzige Schwierigkeit bereitet die Beschaltung des Kammrelais mit den dazugehörigen Leitungen. Wir zeigen daher in *Bild 23* die Relaisfassung mit den Verbindungen. Hier ist das Verdrahten mit verschiedenfarbigen Leitungen eine willkommene Hilfe. Wenn man dann noch die Leitungen mit der Bezeichnung des Bauteiles versieht, zu dem sie hinführen, kann man während der Arbeit nie den Überblick verlieren.

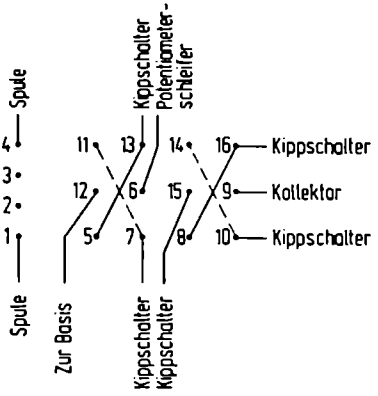



Bild 23. Verdrahtung des Kammrelais zur Umschaltung von NPN auf PNP im Transistorprüfgerät. Die Relaisfassung ist von unten gesehen

Auch wenn dann nach einigen Tagen ein Problem auftritt oder wenn man einen Schaltfehler gemacht hat, bereitet die Fehlersuche keine Schwierigkeiten. Aus der Stückliste sehen wir, welche Bauteile erforderlich sind. Sollten die Siemens-Relais nicht erhältlich sein, kann man selbstverständlich auch andere Relais nehmen. Der Spulenstrom sollte nicht größer als 50 mA sein. Man kann auch mehrere Relais zusammenschalten. Wichtig ist vor allem, daß die Beschaltung wie angegeben erfolgt.

Die Funktion des OP-Voltmeters und vor allem seinen großen Vorteil gegenüber Zeigerinstrumenten ohne elektronische Aufbereitung wollen wir im folgenden Kapitel besprechen.

# Gleich- und Wechselstrom-Spannungsmesser mit Operationsverstärker

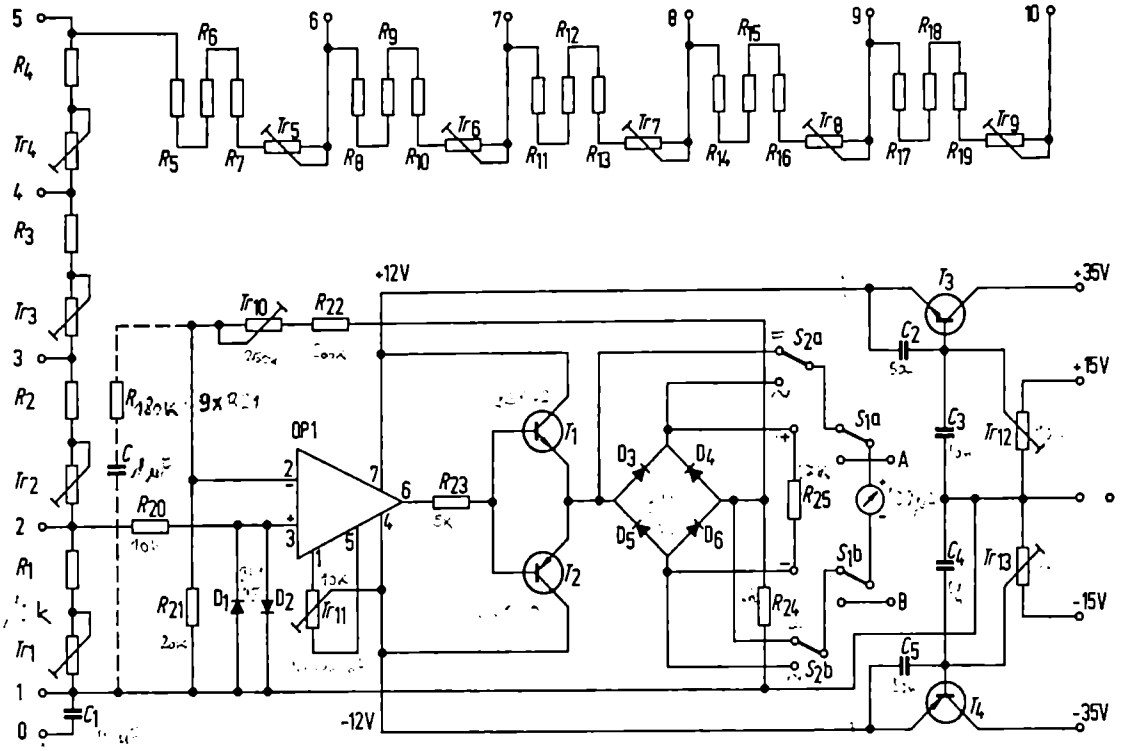
Den Schaltplan unseres Voltmeters zeigt *Bild 24.* Wir wollen nun im folgenden, entsprechend dem Aufbau des Spannungsmessers, nacheinander seine verschiedenen Teile betrachten: Eingangsspannungsteiler, Operationsverstärker, Emitterfolger mit Brückengleichrichter und Anzeige und die elektronische Spannungsstabilisierung.

Befassen wir uns als erstes mit der Schaltung der Spannungsteiler *(Bild 24a)* für die beiden Spannungsmesser. Aufgebaut werden sollen zwei hochohmige Voltmeter, Voltmeter 2 mit 1-mA-Anzeige hat einen Innenwiderstand von 100 kΩ/V; der Meßbereich geht von 0,1 V—1 000 V. In der ersten Eingangsstufe, also im ersten Meßbereich, soll der Vollausschlag 100 mV sein. Somit müssen der Widerstand $R_1$ und der Trimmer $Tr_1$ den Gesamtwiderstand 10 kΩ haben (s. Tabelle 2, S. 52). Der nächstfolgende Meßbereich geht bis 0,33 V, woraus sich für uns folgende Rechnung ergibt:

$R_2 + Tr_2 + R_1 + Tr_1 = 33\ k\Omega$. Danach ist
$R_2 + Tr_2 = (R_2 + Tr_2) - (R_1 + Tr_1)$, also
$33\ k\Omega - 10\ k\Omega = 23\ k\Omega$.

$R_2$ und $Tr_2$ müssen einen Gesamtwiderstand von 23 kΩ haben. Der folgende, also dritte Meßbereich ist auf 1 V festgelegt. Nach Tabelle 2 ist der Gesamtwiderstand $1\ V \times 100\ k\Omega = 100\ k\Omega$ und der Teilwiderstand $R_3\ Tr_3 = 67\ k\Omega$.

Wir können nun auf diese Weise den gesamten Spannungsteiler für Voltmeter 2 berechnen. Das Ergebnis finden Sie in Tabelle 1 zusammengefaßt. In den höheren Meßbereichen setzen wir die Spannungsteiler aus drei Widerständen und einem Trimmer zusammen, da man auf diese Weise zum Aufbau der Spannungsteiler nicht auf in der Praxis kaum zu bekommende genaue Widerstände angewiesen ist. Darüber hinaus lassen sich Toleranzen in den Widerstandswerten durch die Trimmer ausgleichen. Wir


5
6
7
8
9
10
R4
R5
R6
R7
R8
R9
R10
R11
R12
R13
R14
R15
R16
R17
R18
R19
Tr4
Tr5
Tr6
Tr7
Tr8
Tr9
4
R3
Tr3
3
R2
Tr2
2
R1
Tr1
1
0
C1
+12V
-12V
Tr10
R22
R20
R21
D1
D2
Tr11
OP1
R23
T1
T2
D3
D4
D5
D6
R25
R24
S2a
S2b
S1a
S1b
A
B
T3
T4
C2
C3
C4
C5
Tr12
Tr13
+35V
+15V
-15V
-35V

◀ Bild 24. Schaltbild OP-Voltmeter für Gleich- und Wechselspannung.

**Stückliste zum OP-Voltmeter 1 (Bild 24)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $R_1$, $R_{20}$ | 10 | kΩ | 0,5 W |
| $R_2$, $R_3$, $R_{21}$ | 20 | kΩ | 0,5 W |
| $R_4$ | 180 | kΩ | 0,5 W |
| $R_5$, $R_6$, $R_7$, $R_{22}$ | 200 | kΩ | 0,5 W |
| $R_8$, $R_9$, $R_{10}$ | 700 | kΩ | 0,5 W |
| $R_{11}$, $R_{12}$, $R_{13}$, $R_{14}$ | 2,2 | MΩ | 0,5 W |
| $R_{14}$, $R_{15}$ | 10 | MΩ | 0,5 W |
| $R_{17}$, $R_{18}$ | 30 | MΩ | 0,5 W |
| $R_{19}$ | 6,8 | MΩ | 0,5 W |
| $R_{23}$ | 5 | kΩ | 0,5 W |
| $R_{24}$ | 2 | kΩ | 0,5 W |
| $R_{25}$ | 27 | kΩ | 0,5 W |
| $C_1$ | 0,15 µF | | 400 V |
| $C_2 - C_5$ | 50 nF | | 50 V |
| $Tr_1$, $Tr_2$ | 25 kΩ | | |
| $Tr_3$, $Tr_4$ | 100 kΩ | | |
| $Tr_5$, $Tr_{10}$ | 250 kΩ | | |
| $Tr_6$ | 500 kΩ | | |
| $Tr_7$, $Tr_8$, $Tr_9$ | 1 MΩ | | |
| $Tr_{11}$, $Tr_{12}$, $Tr_{13}$ | 10 kΩ | | |

$D_1 - D_4$ 1 N 4151 oder BAY 95
11 Stück Buchsen 2,4 mm
11 Stück Lötfahnen 4 mm
$T_1$, $T_3$ BSX 72
$T_2$, $T_4$ BC 160
OP SFC 2741 C
$S_1$, $S_2$ 2pol-Umschalter, Fa. Knitter
Anzeigeinstrument 100 µA
Wisometer 65, Fa. Winkler

**Stückliste zum OP-Voltmeter 2 (Bild 24)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $R_1$ | 8 | kΩ | 0,5 W |
| $R_2$ | 12 | kΩ | 0,5 W |
| $R_3$ | 39 | kΩ | 0,5 W |
| $R_4$ | 180 | kΩ | 0,5 W |
| $R_5$, $R_6$, $R_7$, $R_{22}$ | 200 | kΩ | 0,5 W |
| $R_8$, $R_9$, $R_{10}$ | 700 | kΩ | 0,5 W |
| $R_{11}$, $R_{12}$, $R_{13}$, $R_{14}$ | 2,2 | MΩ | 0,5 W |
| $R_{14}$, $R_{15}$ | 10 | MΩ | 0,5 W |
| $R_{17}$, $R_{18}$ | 30 | MΩ | 0,5 W |
| $R_{19}$ | 6,8 | MΩ | 0,5 W |
| $R_{20}$ | 10 | kΩ | 0,5 W |
| $R_{21}$ | 20 | kΩ | 0,5 W |
| $R_{23}$ | 5 | kΩ | 0,5 W |
| $R_{24}$ | 2 | kΩ | 0,5 W |
| $R_{25}$ | 27 | kΩ | 0,5 W |

| | | | |
|---|---|---|---|
| $C_1$ | 0,15 µF | | 1000 V |
| $C_2 - C_8$ | 50 nF | | 50 V |
| $Tr_1$, $Tr_2$ | 2,5 kΩ | | |
| $Tr_3$, $Tr_4$ | 100 kΩ | | |
| $Tr_5$, $Tr_{10}$ | 250 kΩ | | |
| $Tr_6$ | 500 kΩ | | |
| $Tr_7$, $Tr_8$, $Tr_9$ | 1 MΩ | | |
| $Tr_{11}$, $Tr_{12}$, $Tr_{13}$ | 10 kΩ | | |
| $D_1 - D_6$ | 1 N 4151 | oder | BAY 95 |
| 11 Stück Buchsen 2,4 mm | | | |
| 11 Stück Lötfahnen | | | |
| $T_1$, $T_3$ | BSX 72 | | |
| $T_2$, $T_4$ | BC 160 | | |
| OP | SFC 2741 C | | |
| $S_1$, $S_2$ | 2pol-Umschalter, Fa. Knitter | | |
| Anzeigeinstrument | 1 mA | | |
| Wisometer 65 | Fa. Winkler | | |

haben ja z. B. $R_1$ mit 8 kΩ und $Tr_1$ mit 2,5 kΩ in Reihe geschaltet und können damit den geforderten Gesamtwiderstand von 10 kΩ genau einstellen.

Nach dem gleichen Prinzip aufgebaut ist der Spannungsteiler für unser Voltmeter 1 mit 100-µA-Anzeige, das einen Innenwiderstand von 1 MΩ/V hat und dessen Meßbereich von 15 mV bis 100 V geht. Wie Tabelle 2 (S. 52) zeigt, beträgt der kleinste Meßbereich 15 mV. Der Spannungsteiler insgesamt ist gegenüber dem von Voltmeter 2 um den Faktor 10 größer. Abgesehen von geringen Abweichungen können zum Aufbau die gleichen Widerstände wie beim Spannungsteiler vom Voltmeter 2 verwendet werden. Betrachten wir nun nochmals Bild 24. Der Operationsverstärker $OP_1$ (das Schaltschema zeigt *Bild 25*, Seite 53) hat den niederohmigen, invertierenden (umkehrenden) Eingang 2 und den hochohmigen, nichtinvertierenden Eingang 3. Für unseren Spannungsmesser benötigen wir den hochohmigen Eingang. Wir schließen daher die Spannungsteiler über den Widerstand $R_{20}$ an Eingang 3 an. Die beiden Dioden $D_1$ und $D_2$ schützen den Operationsverstärker gegen Überlastung. Sobald die Eingangswechselspannung über 0,7 V ansteigt, werden beide Dioden leitend. Arbeiten wir mit Gleichspannung, wird je nach Polung der Eingangsspannung nur eine der Dioden in Funktion treten, da sie mit einander entgegengesetzter Durchlaßrichtung montiert sind.

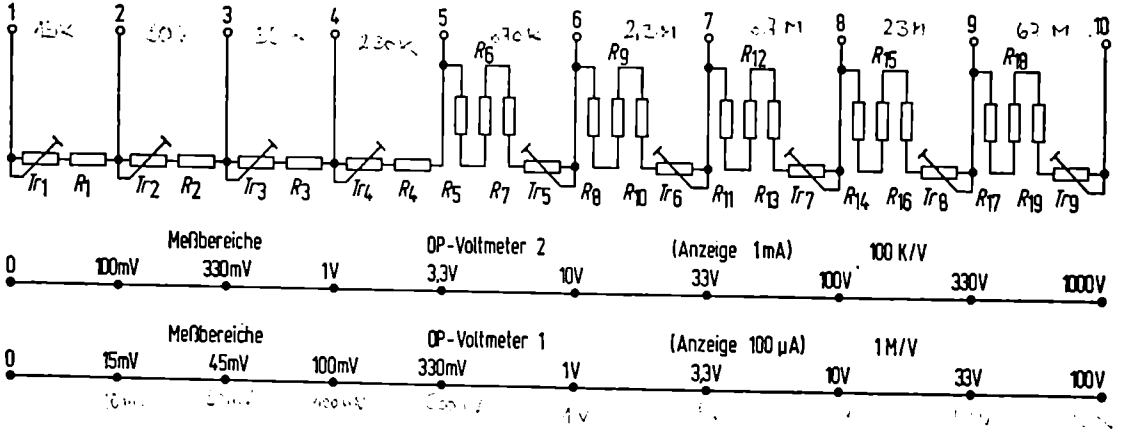



Bild 24a. Schaltbild für die Spannungsteiler des OP-Voltmeters

**Tabelle 1.** OP-Voltmeter 2: 100 mV bis 1000 V
100 kΩ/V

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 · 0 | | | | 0 |
| | R1,Tr1 | R1 | 8 kΩ | |
| | | Tr1 | 2,5 k | 10 kΩ |
| 2 · 100 mV | | | | 10 kΩ |
| | R2,Tr2 | R2 | 12 k | |
| | | Tr2 | 25 k | 23 k |
| 3 . 330 mV | | | | 33 k |
| | R3,Tr3 | R3 | 39 k | 67 k |
| | | Tr3 | 100 k | |
| 4 · 1 V | | | | 100 k |
| | R4,Tr4 | R4 | 180 k | |
| | | Tr4 | 100 k | 230 k |
| 5 · 3,3 V | | | | 330 k |
| | | R5 | 200 k | |
| | R5,R6,R7,Tr5 | R6 | 200 k | |
| | | R7 | 200 k | 670 k |
| | | Tr5 | 250 k | |
| 6 · 10 V | | | | 1 M |
| | | R8 | 700 k | |
| | R8,R9,R10,Tr6 | R9 | 700 k | |
| | | R10 | 700 k | 2,3 M |
| | | Tr6 | 500 k | |
| 7 · 33 V | | | | 3,3 M |
| | | R11 | 2,2 M | |
| | R11,R12,R13,Tr7 | R12 | 2,2 M | |
| | | R13 | 2,2 M | 6,7 M |
| | | Tr7 | 1 M | |
| 8 · 100 V | | | | 10 M |
| | | R14 | 10 M | |
| | R14,R15,R16,Tr8 | R15 | 10 M | |
| | | R16 | 2,2 M | 23 M |
| | | Tr8 | 1 M | |
| 9 · 330 V | | | | 33 M |
| | | R17 | 30 M | |
| | R17,R18,R19,Tr9 | R18 | 30 M | |
| | | R19 | 6,8 M | 67 M |
| | | Tr9 | 1 M | |
| 10 · 1000 V | | | | 100 M |

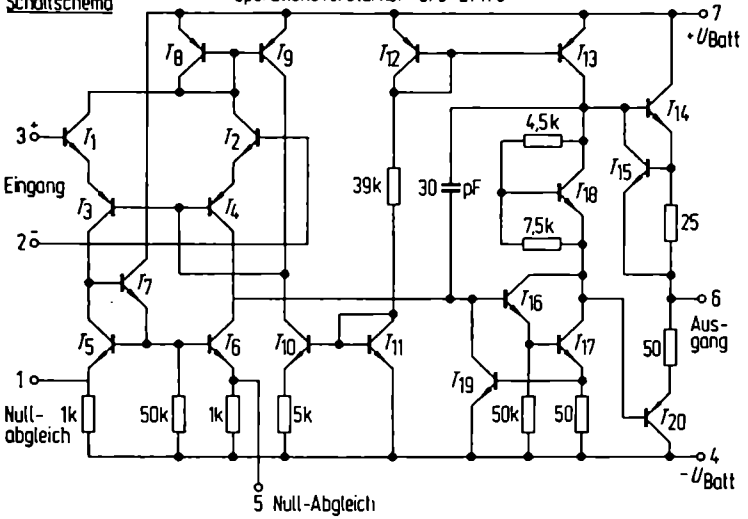
**Tabelle 2:** OP-Voltmeter 1: 15 mV bis 100 V
1 MΩ/V

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 · 0 | | | | 0 |
| | R1,Tr1 | R1 | 10 kΩ | 15 kΩ |
| | | Tr1 | 25 k | |
| 2 · 15 mV | | | | 15 kΩ |
| | | R2 | 20 k | |
| | R2,Tr2 | Tr2 | 25 k | 30 k |
| 3 · 45 mV | | | | 45 k |
| | R3,Tr3 | R3 | 20 k | |
| | | Tr3 | 100 k | 55 k |
| 4 · 100 mV | | | | 230 k |
| | R4,Tr4 | R4 | 180 k | 230 k |
| | | Tr4 | 100 k | |
| 5 · 330 mV | | | | 330 k |
| | | R5 | 200 k | |
| | R5,R6,R7,T5r | R6 | 200 k | |
| | | R7 | 200 k | 670 k |
| | | Tr5 | 250 k | |
| 6 · 1 V | | | | 1 M |
| | | R8 | 700 k | |
| | R8,R9,R10,Tr6 | R9 | 700 k | |
| | | R10 | 700 k | 2,3 M |
| | | Tr6 | 500 k | |
| 7 · 3,3 V | | | | 3,3 M |
| | | R11 | 2,2 M | |
| | R11,R12,R13,Tr7 | R12 | 2,2 M | |
| | | R13 | 2,2 M | 6,7 M |
| | | Tr7 | 1 M | |
| 8 · 10 V | | | | 10 M |
| | | R14 | 10 M | |
| | R14,R15,R16,Tr8 | R15 | 10 M | |
| | | R16 | 2,2 M | 23 M |
| | | Tr8 | 1 M | |
| 9 · 33 V | | | | 33 M |
| | | R17 | 30 M | |
| | R17,R18,R19,Tr9 | R18 | 30 M | |
| | | R19 | 6,8 M | 67 M |
| | | Tr9 | 1 M | |
| 10 · 100 V | | | | 100 M |

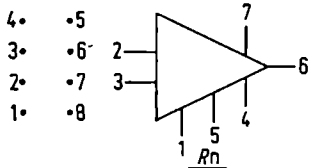
Bild 25. Schaltschema und Blockschaltbild des Operationsverstärkers im Voltmeter nach Bild 24

Schaltschema

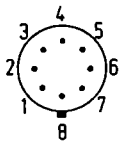
Operationsverstärker SFC 2741 C



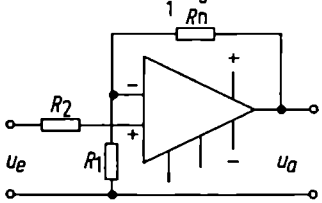

Block-Schaltung




Gehäuse TO-99

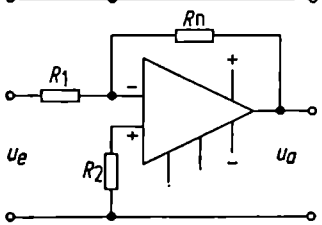



Anschlüsse
(von unten gesehen)




nichtinvertierender Eingang

$V = \frac{Rn}{R1} + 1$ hochohmig




invertierender Eingang

$V = -\frac{Rn}{R1}$ niederohmig

Der Vorwiderstand $R_{20}$ dient zur Begrenzung des maximal durch die beiden Schutzdioden fließenden Stromes. Beträgt z. B. die angelegte Spannung 100 V und hat einen Widerstand von 10 k$\Omega$, dann beträgt der Diodenstrom = 100 V : 10 000 $\Omega$ = 10 mA. $D_1$ und $D_2$ müssen schnelle HF-Dioden sein. In der Schaltung fand der Typ BAY 95 der Firma Telefunken Verwendung.
Eingang 2 des Operationsverstärkers ist über $R_{21}$ an Null gelegt. $R_{20}$ und $R_{21}$ müßten gleiche Werte haben. $R_{20}$, $R_1$ und $Tr_1$ in Reihe geschaltet ergeben 20 k$\Omega$. Damit erhalten wir für $R_{21}$ 10 k$\Omega$.
Die Versorgungsspannung von +12 V wird an Eingang 7 und die von —12 V an Eingang 4 angeschlossen.
Die Eingänge 1 und 5 des Operationsverstärkers liegen am Trimmer $Tr_{11}$, dessen Schleifer seinerseits an die —12-Volt-Spannung angeschlossen ist. Mit diesem Trimmer nehmen wir die Nulleinstellung des Anzeigeinstrumentes vor. Punkt 6 bezeichnet den Ausgang des Operationsverstärkers. Der maximale Ausgangsstrom beträgt 5 mA.
$R_{23}$ begrenzt den Basisstrom der Transistoren $T_1$ und $T_2$. Die beiden NPN- und PNP-Transistoren sind als Emitterfolger geschaltet. Diese Schaltung liefert eine gegenüber der Spannungsverstärkung hohe Stromverstärkung, was die Verwendung von Anzeigeinstrumenten bis 25 mA erlaubt. $T_1$ und $T_2$ müssen nicht ausgesuchte Transistoren mit gleicher Stromverstärkung sein, da die dem Brückengleichrichter nachgeschaltete Rückkopplung über die Widerstände $R_{22}$ und $Tr_{10}$ ungleiche Verstärkungen ausgleicht. Damit wir auch Wechselspannungen messen können, wird die von $T_1$ und $T_2$ verstärkte Spannung über den Brückengleichrichter $D_3$ $D_4$ $D_5$ $D_6$ gleichgerichtet und dann dem Anzeigeinstrument zugeführt. Mit dem Kippschalter $S_1$ wird das Instrument wahlweise auf Strom- oder Spannungsmessung umgeschaltet.
Der Emitterstrom der beiden Transistoren $T_1$ und $T_2$ fließt über den Brückengleichrichter, das Anzeigeinstrument und den Widerstand $R_{21}$ gegen Null. Die Höhe der Stromverstärkung durch $OP_1$ ist bestimmt durch das Verhältnis der Widerstände $Tr_{10}$ und $R_{22}$ zu $R_{21}$. Dies würde stimmen, wenn die Rückkopplungsleitung di-

rekt an den Emitter angeschlossen wäre. So ist aber der Brückengleichrichter davorgeschaltet (sowie $R_{24}$ gegen Null). Damit erreichen wir folgendes: Die Rückkopplung ist von der Gleich- oder Wechselspannung an $R_{24}$ abhängig. Bei kleinen Spannungen sind die Dioden hochohmig, da die 0,7-V-Grenze nicht erreicht ist. Dadurch wird die Rückkopplung über $R_{22}$ und $Tr_{10}$ zum Eingang 2 hochohmig. Das Widerstandsverhältnis $R_{22}$ und $Tr_{10}$ zu $R_{21}$ wird größer, der OP-Verstärker regelt auf. Sobald die Spannung an den Dioden 0,7 V erreicht, wird die Verstärkung kleiner; es fließt ein Strom über $R_{24}$, die Gegenkopplung setzt ein. Damit erlaubt diese Schaltung Messungen im Millivoltbereich. Um den Operationsverstärker nicht ohne Rückkopplung arbeiten zu lassen, wenn das Anzeigeinstrument auf direkte Messung umgeschaltet ist, liegt parallel zum Brückengleichrichter der Widerstand $R_{25}$. Die elektronische Spannungsstabilisierung arbeitet mit zwei Transistoren, wiederum vom Typ NPN ($T_3$) und PNP ($T_4$). Die Spannungen +35 V, +15 V sowie —15 V und —35 V werden von einem Netzgerät bezogen, das wir anschließend beschreiben wollen. Die Kondensatoren $C_2$, $C_3$, $C_4$ und $C_5$ verhindern das Schwingen der Schaltung. Die Versorgungsspannungen +12 V und —12 V werden mit den Trimmern $Tr_{12}$ und $Tr_{13}$ eingestellt.
Die Schaltung unseres Voltmeters mit Operationsverstärker wurde auf eine Grenzfrequenz von 10 kHz begrenzt. Bei einer sinusförmigen Wechselspannung soll der Effektivwert gemessen werden. Unser Drehspulinstrument zeigt aber den arithmetischen Mittelwert an.

$U_{eff.} = U_{max.} : \sqrt{2}$ $\qquad$ $U_{ar.} = U_{max.}\ (2 : \pi)$
$U_{eff.} = U_{max.} : 1{,}414 = U_{max.}\ 0{,}7071$
$U_{ar.} = U_{max.}\ (2 : 3{,}14) = U_{max.}\ 0{,}6366$

Demnach wäre bei einer Sinusspannung unser Vollausschlag $U_{max.}$ 0,7071. Tatsächlich aber zeigt das Instrument weniger an. Und zwar in Prozent ausgedrückt:

$$(0{,}6366 : 0{,}7071) = 100\% = 90{,}03\%$$

der zu messenden Spannung. Wollten wir z. B. 10 V als Voll-

ausschlag messen, würden bei Vollausschlag nur 9,003 V angezeigt werden. Der OP-Verstärker muß also zum Ausgleich bei einer Sinusspannung einen höheren Verstärkungsfaktor haben. Die Verstärkung am nichtinvertierenden Eingang eines OP-Verstärkers berechnen wir nach der Formel:

$$V = (R_n : R_1) + 1 \text{ (vgl. Bild 25).}$$

Danach wird die Verstärkung größer, wenn wir den Widerstand $R_1$ kleiner machen. Wir müßten also einen Widerstand zu $R_1$ — in unserer Schaltung (Bild 24) ist dies $R_{21}$ mit 20 k$\Omega$ — parallelschalten, wobei der parallelgeschaltete Widerstand natürlich die Gleichstrommessung nicht beeinträchtigen darf. Dies erreicht man durch eine Reihenschaltung eines Widerstandes mit einem Kondensator, womit die Gleichspannung abgeblockt wird.
Wir berechnen zuerst den Parallelwiderstand. Da 90% vom gewünschten Strom über den $R_{21}$ fließen und die restlichen 10% über den Widerstand R, muß er um den Faktor 9 größer sein als $R_{21}$. R ist also

$$R = R_{21} \times 9 = 20 \text{ k}\Omega \times 9 = 180 \text{ k}\Omega.$$

Der in Reihe geschaltete Kondensator ist nach der tiefsten Meßfrequenz auszulegen. Sein Wechselstromwiderstand muß wesentlich kleiner sein als der Widerstand R:

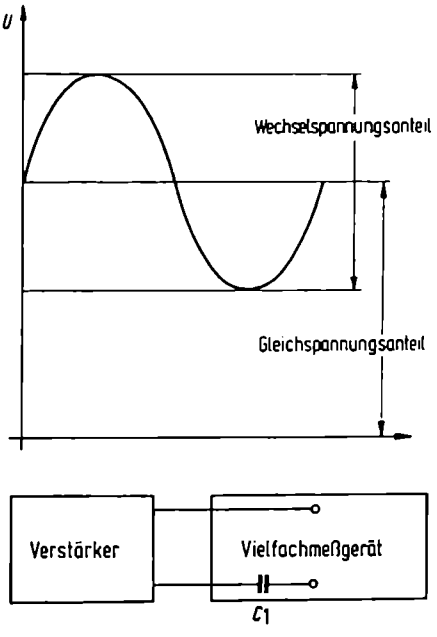
$X_C = 1 : (2 \times \pi \times f \times C)$. $X_C$ soll wesentlich kleiner sein als R.

Somit ist C wesentlich größer als $1 : (2 \times \pi \times f \times R)$.
Unter der Annahme, die tiefste Frequenz sei 10 Hz, berechnen wir C:

$$C = 1 : (2 \times 3{,}14 \times 10 \times 180\,000),$$
$$C = \text{ca. } 90 \text{ nF}.$$

Für den praktischen Betrieb genügt es, wenn man die Kapazität zehnmal größer wählt. Um einen geraden Wert zu erhalten, nehmen wir einen Kondensator mit 1 $\mu$F. In der Schaltung (Bild 24) ist diese Anordnung gestrichelt eingezeichnet. Es bleibt dem

Bild 26. Messungen von Wechselspannungen




Leser überlassen, wie er die Grenzfrequenz wählt. Das Rechenbeispiel zeigt, wie man hier vorgehen muß. Im Mustergerät sind auf der Platine (vgl. Bild) die Stützpunkte für den Widerstand und den Kondensator vorgesehen. Der Verfasser muß es dem Leser freistellen, diese Anordnung einzubauen. Hier sind einige Versuche anzustellen, wenn man ein befriedigendes Ergebnis erreichen will. Man kann auch die Skalenanzeige mit dem Faktor 1,1 multiplizieren und erhält dadurch das richtige Ergebnis.

Die Schaltung des Voltmeters kann auch weiter für Messungen von Maximalspannungen ausgebaut werden, indem man zum Widerstand $R_{10}$ einen Elektrolytkondensator von 1000 $\mu$F 15 / 18 V parallelschaltet. Jetzt lädt sich der Kondensator auf den Spitzenwert auf, und die Anzeige ist der Scheitelwert einer Sinusspannung. Um Wechselspannungen mit einem Gleichstromanteil messen zu können, hat jedes Voltmeter einen zweiten Nullpunkt, der über einen Kondensator $C_1$ die Gleichspannung abblockt (siehe *Bild 26*). Soll die Wechselspannung bei einem Verstärker gemessen werden, wird der Ausgang des Verstärkers an Punkt 0 und an den jeweiligen Meßbereich angeschlossen.

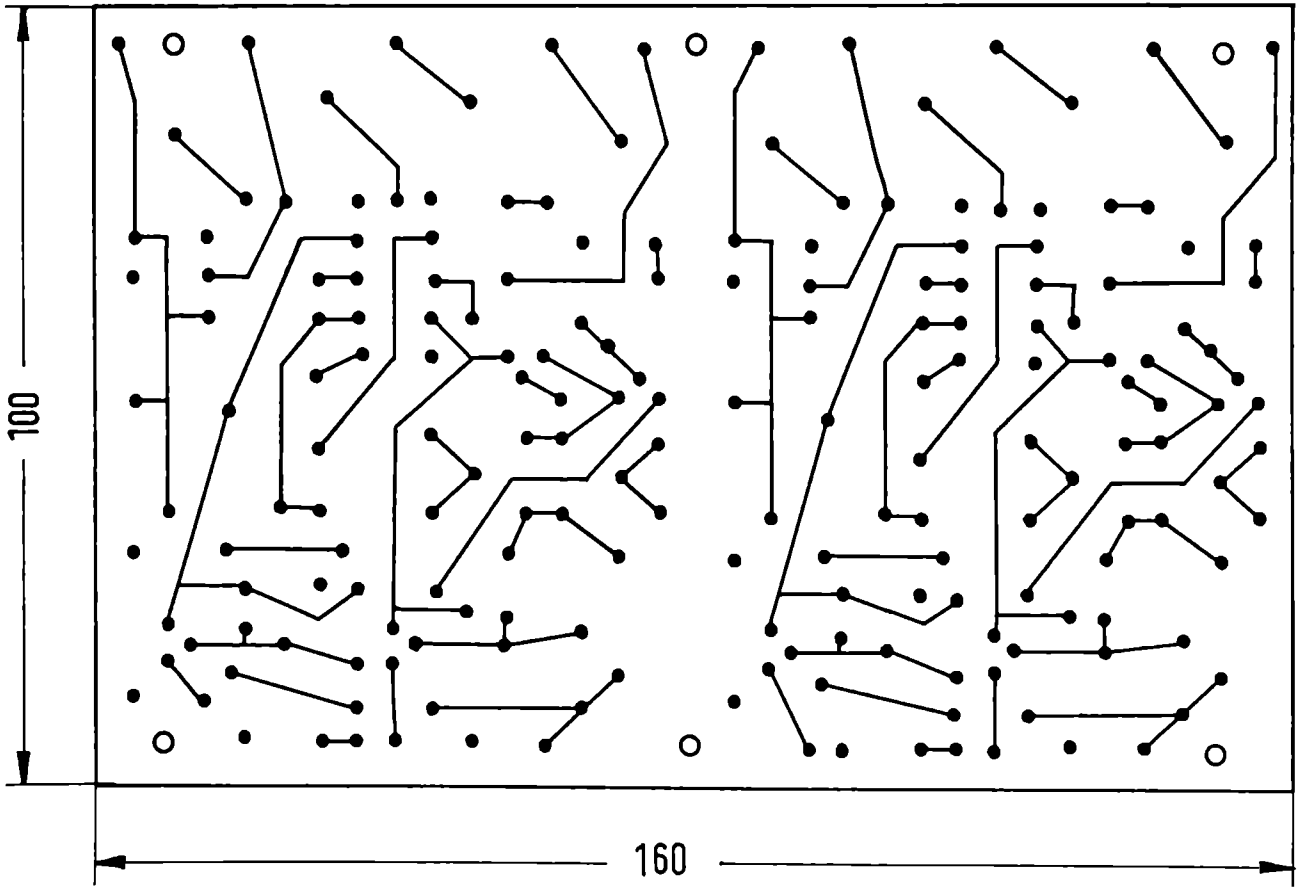
Sorgfältig geachtet werden muß in Anbetracht der differenzierten Meßbereiche und der Hochohmigkeit der Schaltung auf die

richtige Erdung von Gehäuse und Nullpunkt. Sollte das Meßgerät einen Wert anzeigen, ohne daß eine Spannungsquelle angeschlossen wurde, muß man den Netzstecker umpolen. Dann geht die Anzeige auf ein Mindestmaß zurück. Eine kapazitive oder galvanische Erdung des Nullpunktes kann man jederzeit erreichen, indem man den Nullpunkt mit den äußeren Buchsen des Ohmmeters verbindet. Diese Buchsen haben Kontakt mit dem Chassis, das unmittelbar mit der Erdungsleitung des Schukosteckers verbunden ist. Wir sehen, daß diese Schaltung einige Versuchsmöglichkeiten anbietet.

## Aufbau der Schaltung

Die gedruckte Schaltung findet Platz auf einer Europa-Platine 100 × 160 mm. Mit Hilfe des schon beschriebenen Verfahrens übertragen wir nach *Bild 27* die Leiterbahnen auf die Platine. Im Gegensatz zu den Beinchen der Transistoren liegen die Anschlüsse des Operationsverstärkers sehr eng beieinander. Damit wir einen größeren Abstand zwischen den Leiterbahnen bekommen, wurden die acht Anschlüsse des $OP_1$ im Abstand von 5 bzw. 10 mm voneinander angeordnet.
Eine Spreizfassung aus gutem Isoliermaterial ist im Handel erhältlich. Bei Verzicht auf diese Fassung muß man die einzelnen Anschlüsse in der richtigen Reihenfolge abbiegen und mit dünnem Isolierschlauch gegeneinander isolieren.
Wie die Bestückung der Platine vorzunehmen ist, zeigt *Bild 28*. Die systematische Bauteileanordnung erfordert einige Brückenverbindungen auf der Bauteileseite. Wir verwenden dafür einen dünnen Draht, über den wir vorher einen Isolierschlauch ziehen. Die Anschlüsse für die Spannungszuführung liegen auf der un-

Bild 27. Gedruckte Schaltung zum OP-Voltmeter nach Bild 24


100
160

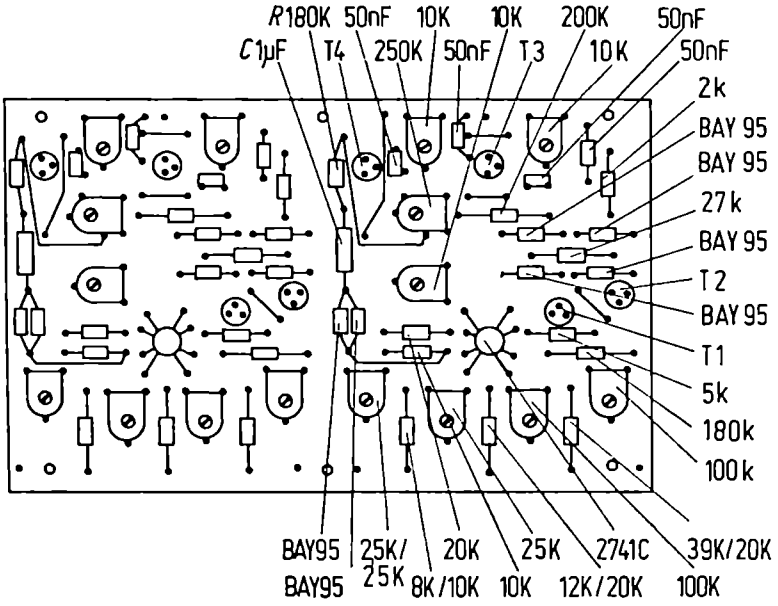
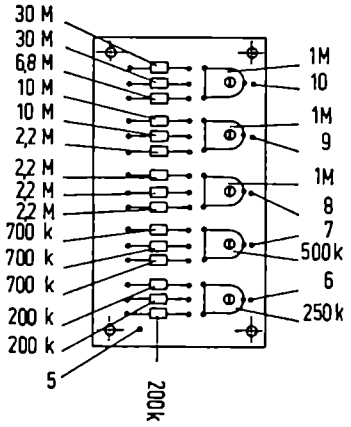



Bild 28. Bestückungsplan zum Voltmeter mit Operationsverstärker nach Bild 24




teren Platinenseite. Der Spannungsteiler ist auf der Oberseite der Platine geführt, um kürzeste Leitungsverbindungen zu den Anschlußbuchsen zu ermöglichen. Die Zuleitung zu den Anzeigeinstrumenten bzw. zum Kippschalter fassen wir mit den Spannungszuführungsleitungen zusammen.

Bild 29a. Bestückungsplan für Zusatzplatinen zum Voltmeter mit Operationsverstärker

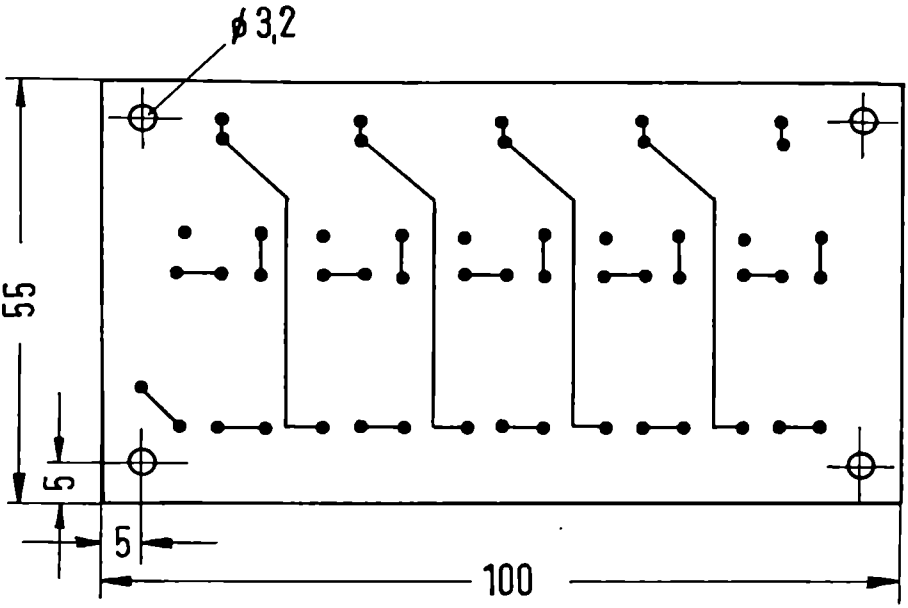



Bild 29b. Gedruckte Schaltung für Zusatzplatinen mit den Meßbereichen 5–10 des Voltmeters mit Operationsverstärker nach Bild 24 und 29a

Die Bauteile für die Meßbereiche 5 bis 10 müssen wir auf zwei zusätzlichen Platinen unterbringen (siehe *Bild 29*). Die Platinen befestigen wir an den Gehäuse-Seitenteilen (Bild 7), oberhalb der Platine mit dem Netzgerät. Die Verbindungsleitungen zu den Buchsen der Frontplatte sind direkt geführt.

## Doppeltes Netzgerät für die beiden Voltmeter mit Operationsverstärker

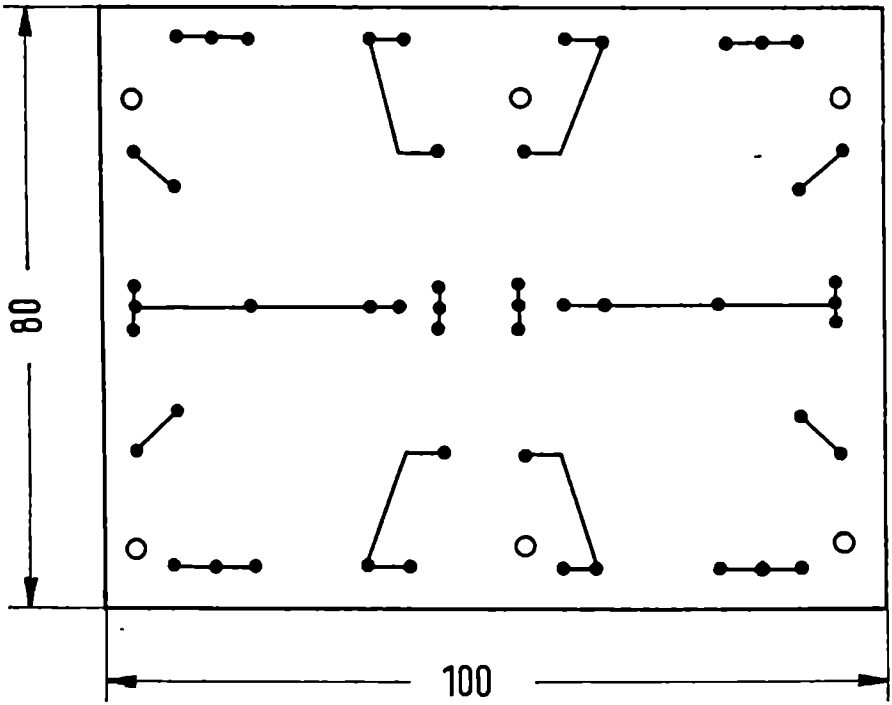
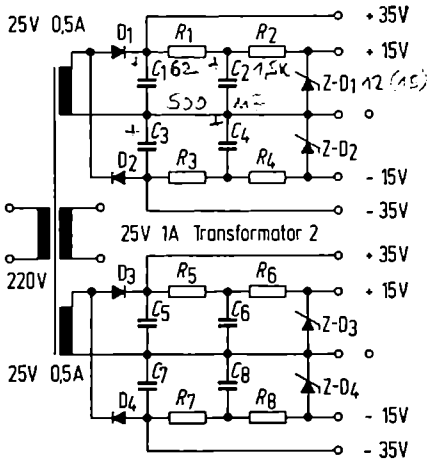



Bild 31. Gedruckte Schaltung zum doppelten Netzgerät nach Bild 30

Die Schaltung dieser beiden miteinander identischen Netzgeräte ist in *Bild 30* dargestellt. Die Wechselspannung wird mit zwei gegenpolig angeschlossenen Dioden gleichgerichtet. Gegen die Mitte erhalten wir eine positive und eine negative Gleichspannung von 35 V, die über $C_1$ und $C_3$ an die Längstransistoren der Voltmeter geführt wird. Über $R_1$ und $R_3$ mit den Siebkon-

Bild 30. Schaltplan zum doppelten Netzgerät für das OP-Voltmeter nach Bild 24




**Stückliste zu Bild 30**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $R_1$, $R_2$, $R_5$, $R_7$ | 62 Ω | 1 W | | |
| $R_3$, $R_4$, $R_6$, $R_8$ | 1,4 kΩ | 0,5 W | | |
| $C_1 - C_8$ | Elyt | 500 µF | 35/40 V | |
| $D_1 - D_4$ | Diode | 50 V | 0,5 A | |
| $Z-D_1 - Z-D_4$ | Zenerdiode | 15 V | 400 mW | |
| Netztransformator 2 | M 74 | 50 VA | | |
| Wickeldaten primär | 220 V | 1210 Wdg | 0,35 ∅ CuI | |
| sekundär | 25 V | 150 Wdg | 1 A | 0,65 ∅ |
| | 25 V | 150 Wdg | 0,5 A | 0,45 ∅ |
| | 25 V | 150 Wdg | 0,5 A | 0,45 ∅ |

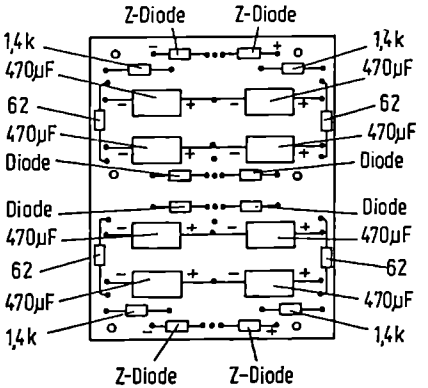



Bild 32. Bestückungsplan zum Netzgerät nach Bild 30

densatoren $C_2$ und $C_4$ sowie den Widerständen $R_2$ und $R_4$ werden beide Zenerdioden $ZD_1$ und $ZD_2$ angeschlossen. Die stabilisierte Spannung von +15 V und —15 V geht an die Trimmer $Tr_{12}$ und $Tr_{13}$ der Voltmeter mit Operationsverstärker.
Beide Netzgeräte werden auf einer Platine mit den Abmessungen 100 × 80 aufgebaut. Die gedruckte Schaltung sehen wir in *Bild 31*. Die Bestückung erfolgt nach *Bild 32*. Es empfiehlt sich, farbige Drähte für die Verbindungsleitungen zu wählen; dies erleichtert wesentlich die Verdrahtungsarbeit. Natürlich muß man sich ausdenken, was die Farben bedeuten, und muß einheitlich beim ganzen Gerät stets die gleiche Farbe für das gleiche Potential wählen.
Die Wickeldaten für den Transformator finden Sie bei der Stückliste.

## Abgleich der Voltmeter mit Operationsverstärker

Zuerst überprüfen wir die Verbindungen, vor allem die richtige Reihenfolge der Anschlüsse an die Eingänge des Operationsverstärkers. Danach stellen wir alle Trimmer auf Mittelstellung. Das Anzeigeinstrument wird vorsichtshalber abgeschaltet für den Fall, daß ein Kurzschluß in der Leitungsführung sein sollte. Nun schalten wir das Netzgerät ein und messen mit einem Voltmeter die Spannungen an den Längstransistoren $T_3$ und $T_4$. Mit den Trimmern $Tr_{12}$ und $Tr_{13}$ werden die Gleichspannungen genau auf +12 V und —12 V eingestellt.
Nach diesen vorbereitenden Messungen schalten wir nun auch das Anzeigeinstrument ein, dessen Zeiger jetzt in der Nullstellung bleiben müßte. Zeigt das Instrument irgendeinen Wert an, wird der Trimmer $Tr_{11}$ so lange nachgestellt, bis der Zeiger auf den Nullpunkt zurückgeht.
Der nächste Schritt ist das Einstellen der Verstärkung und der

Spannungsteiler. Bereits bei der Bestückung der Platine haben wir die Reihenschaltung von $R_1$ und $Tr_1$ auf 10 k$\Omega$ eingestellt. Wir setzen also voraus, daß der Eingangswiderstand 10 k$\Omega$ ist. Nach unserer Berechnung muß eine Spannung von 100 mV an den Buchsen 1 und 2 von Voltmeter 1 das Anzeigeinstrument zum Vollausschlag bringen. Benötigt wird also eine Spannungsquelle von 100 mV, wozu sich eine Taschenlampenbatterie von 1,5 V oder 4,5 V sehr gut eignet. Die Spannung 100 mV muß teilbar sein, d. h., wir müssen aus einigen niederohmigen Widerständen einen Spannungsteiler zusammenschalten. Fügt man in die Schaltung noch ein Potentiometer oder einen Trimmer ein, kann man die Spannungen genau einregeln. Wird z. B. mit einem Voltmeter eine Spannung von 1 V gemessen, benötigt man einen 100-$\Omega$- und einen 900-$\Omega$-Widerstand. Die Spannung wird an die Buchsen 1 und 2 angeschlossen.

Mit dem Trimmer $Tr_{10}$ regeln wir die Gesamtverstärkung des Voltmeters mit Operationsverstärker so lange auf, bis das Anzeigeinstrument Vollausschlag anzeigt. Jetzt darf $Tr_{10}$ nicht mehr verstellt werden, da sonst die gesamte Spannungsteilung nicht mehr stimmt.

Damit ist der Abgleich im 100-mV-Bereich beendet, und wir schließen nun 0,3 V an die Buchsen 1 und 3 an. Den Vollausschlag stellen wir mit dem Trimmer $Tr_2$ ein. Falls der Widerstand $R_2$ zu groß ist, muß man einen um 10 k$\Omega$ kleineren Wert nehmen. Es ist sehr zu empfehlen, die Widerstände $R_1$, $R_2$, $R_3$ und $R_4$ erst bei dieser Abgleicharbeit auszuwählen und im Anschluß daran fest einzulöten.

Die Bereiche 1 V und 3,3 V werden nach dem vorher beschriebenen Verfahren abgeglichen. Von dieser Abgleicharbeit hängt die genaue Anzeige unseres OP-Voltmeters ab.

Bei den Arbeiten mit hohen Spannungen im 100-V- bzw. 1000-V-Bereich sei nochmals auf die Gefahr im Umgang mit Hochspannung hingewiesen. Diese Warnung gilt dann um so mehr, wenn man den Abgleich des Voltmeters mit der Wechselspannung durchführt: Mit 50 Hz oder mit einer tieferen Frequenz wird der Widerstand R und der Kondensator C, in der Schaltung ge-

strichelt gezeichnet, eingestellt. Hier sei nochmals auf die richtige Gegenpolung der Schutzdioden $D_1$ und $D_2$ aufmerksam gemacht. Der Verfasser hat versuchsweise mehrere Male Eingang 1 und 2 1000fach überlastet, um sich von der Sicherheit der Schaltung zu überzeugen.

Zu den Messungen im Millivoltbereich ist noch einiges zu bemerken: Da wir einen hochohmigen Eingang haben, ist in den niederen Spannungsbereichen eine Brummeinstreuung nicht zu vermeiden. Ungünstig liegende Meßleitungen können in der Nähe eines Netztransformators vom Magnetfeld beeinflußt werden: Obwohl keine Spannung angeschlossen ist, zeigt das Voltmeter einen Ausschlag.

In solchen Fällen muß man mit einer abgeschirmten Meßleitung arbeiten. Am besten dafür eignen sich flexible Koaxialkabel oder abgeschirmte Leitungen für Tonbandgeräte und Plattenspieler, denn es kommt vor allem auf eine gute Isolation der Innenleitung an.

Soll auch Hochfrequenz gemessen werden, bauen wir nach *Bild 33* einen HF-Tastkopf. Die HF-Diode $D_1$ richtet die Hochfrequenz gleich. Der kleine Ladekondensator $C_1$ mit ca. 50 bis 100 pF wird direkt an die Diode angeschlossen, und die gleichgerichtete Spannung wird je nach ihrer Größe an den betreffenden Meßbereich gelegt. Sollten wir kein passendes Metallröhrchen zur Hand haben, fertigen wir ein kleines Gehäuse aus kaschiertem Material an (vgl. *Bild 33a*). Meßleitung und Abschirmung löten wir zusammen an. Die günstigste Länge für die abgeschirmte Leitung ist 0,75 — 1 m. Eine Verbindungsleitung wird an der Abschirmung befestigt. Auf der entgegengesetzten Seite löten wir einen 1,5—2,0 mm dicken Kupferdraht ein, der

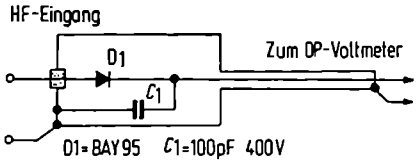
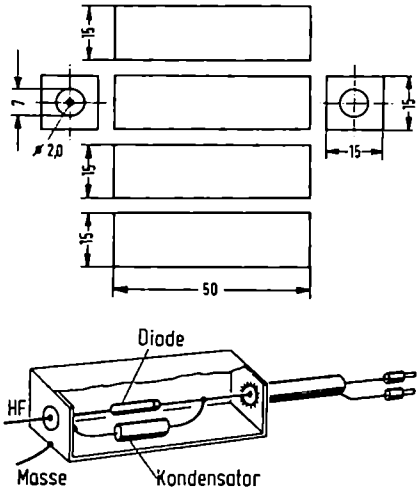



Bild 33. Schaltbild des HF-Tastknopfes zum doppelten Netzgerät nach Bild 30

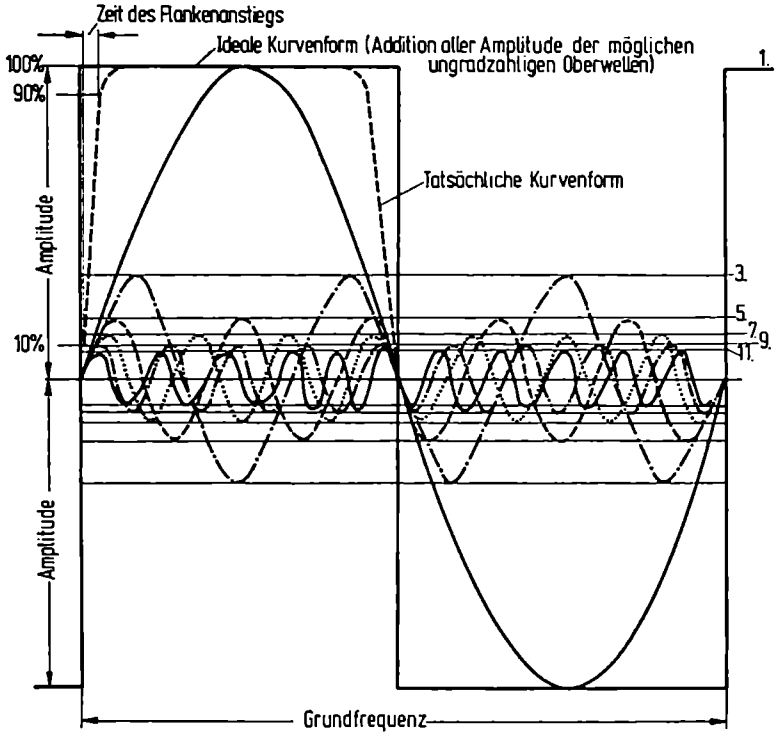
Bild 33a. Gehäuse zum HF-Tastknopf

zur Entnahme der HF direkt an der Meßstelle dient. Das Einlöten der Diode und des Kondensators in das Gehäuse dürfte kaum Schwierigkeiten bereiten. Mit einem HF-Oszillator oder einem HF-Generator messen wir den HF-Tastkopf aus. Wenn er funktioniert, lötet man die obere Platte des Gehäuses an.




## Regelbarer Rechteckgenerator von 0,1 Hz bis 200 kHz

Der Rechteckgenerator übernimmt bei Messungen an Verstärkerschaltungen durch seine Oberwellenhaltigkeit die Funktion eines Signalverfolgers. Bei allen bisher beschriebenen Meßgeräten gingen wir davon aus, daß ein Signal erzeugt und daß sein Weg in einem Verstärker oder einer Schaltung mit unserem Meßgerät verfolgt und gemessen wurde. Auf diese Weise haben wir auch einzelne Bauteile überprüft. Ein Signalverfolger mit einer Grundfrequenz von 0,1 Hz bis 200 kHz erzeugt wesentlich höhere Frequenzen, als die bisherigen Signale sie hatten, da seine Spannung nicht sinusförmig, sondern rechteckig ist. Je steiler die Anstiegsflanken dieses Rechtecks sind, um so mehr Oberwellen sind in der rechteckigen Grundfrequenz enthalten. Mit dem Potentiometer wird die Ausgangsamplitude eingestellt.




| | | Amplitude [V] |
|---|---|---|
| Grundfrequenz | 1 | 1,000 |
| 3. Oberwelle | 3fache Frequenz | 0,333 |
| 5. Oberwelle | 5fache Frequenz | 0,200 |
| 7. Oberwelle | 7fache Frequenz | 0,142 |
| 9. Oberwelle | 9fache Frequenz | 0,111 |
| 11. Oberwelle | 11fache Frequenz | 0,091 |
| 13. Oberwelle | 13fache Frequenz | 0,077 |
| 15. Oberwelle | 15fache Frequenz | 0,066 |
| 17. Oberwelle | 17fache Frequenz | 0,059 |
| 19. Oberwelle | 19fache Frequenz | 0,056 |
| 21. Oberwelle | 21fache Frequenz | 0,0475 |

——— 1 . . . . . 7
— . — 3 — . . — 9
— — — 5 ——— 11

Bild 34. Frequenzabhängigkeit der Spannungskurven beim Rechteckgenerator (nach Bild 35). Dargestellt sind Grundfrequenz und 3., 5., 7., 9. und 11. Oberwelle

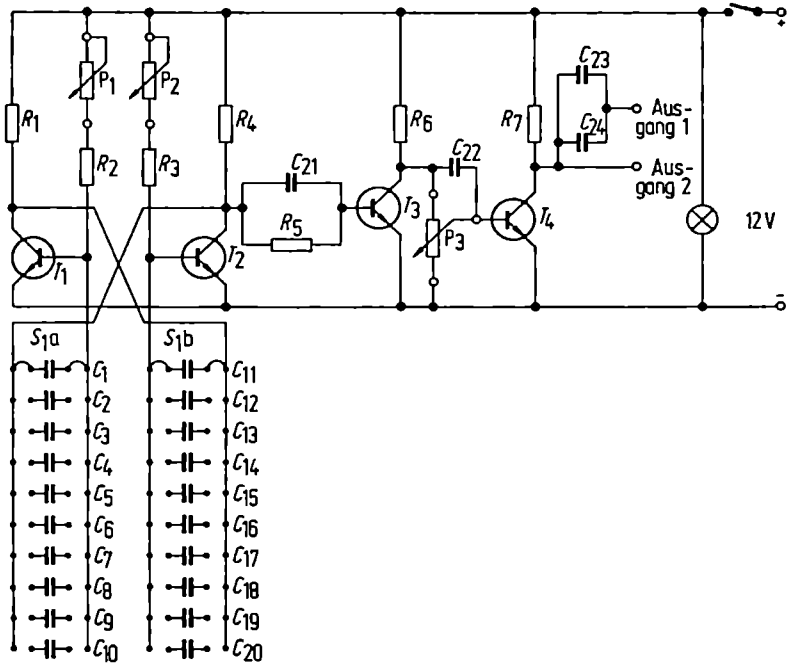



Bild 35. Schaltbild zum regelbaren Rechteckgenerator

**Stückliste zu Bild 35 und Bild 38**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $R_1$, $R_4$ | 470 | Ω | 0,5 W |
| $R_2$, $R_3$, $R_6$ | 4,7 | kΩ | 0,5 W |
| $R_5$ | 9,1 | kΩ | 0,5 W |
| $R_7$ | 560 | Ω | 1 W |
| $R_8$ | 91 | kΩ | 1 W |
| $R_9$ | 10 | kΩ | 1 W |
| $Tr_1$, $Tr_2$ | 25 | kΩ | |
| $T_1 - T_4$ | BSX 72 | | |
| $P_1$, $P_2$ | 10 | kΩ | |
| $P_3$ | 500 | Ω | |
| $C_1$, $C_{11}$ | 500 | pF | 15/18 V |
| $C_2$, $C_{12}$ | 1 | nF | 15/18 V |
| $C_3$, $C_{13}$ | 3,3 | nF | 15/18 V |
| $C_4$, $C_{14}$ | 10 | nF | 15/18 V |
| $C_5$, $C_{15}$ | 47 | nF | 15/18 V |
| $C_6$, $C_{16}$ | 0,15 | µF | 15/18 V |
| $C_7$, $C_{17}$ | 1 | µF | 15/18 V |
| $C_8$, $C_{18}$ Elyt | 10 | µF | 15/18 V |
| $C_9$, $C_{19}$ Elyt | 50 | µF | 15/18 V |
| $C_{10}$, $C_{20}$ Elyt | 220 | µF | 15/18 V |
| $C_{21}$, $C_{22}$, $C_{24}$ | 10 | nF | 15/18 V |
| $C_{23}$ Elyt | 25 | µF | 15/18 V |

1 Kippschalter einpolig, Fa. Knitter
1 Miniaturfassung mit 12-V-Lämpchen

Eine Rechteckkurve entsteht durch die Addition der Amplituden aller ungeradzahligen Oberwellen der Grundfrequenz (siehe *Bild 34*). Die Amplituden der Oberwellen werden im Verlauf ihrer Abfolge größenordnungsmäßig kleiner. So können wir am Beispiel der 3. bis 11. Oberwelle die Frequenz und die Spannung berechnen. Nehmen wir an, die Grundfrequenz sei 100 kHz. Somit wäre die 21. Oberwelle 2 100 kHz und die Amplitude A (21) = A (Volt) : 21. Bei einer Rechteckspannung von 10,5 V wären es 500 mV und bei der 999. Oberwelle ca. 10,5 mV bei einer Frequenz von 99 MHz. Dieses Beispiel zeigt uns sehr deutlich, daß die Oberwellenhaltigkeit bis ins UKW-Gebiet geht.
Bei Messungen mit dem Rechteckgenerator müssen die Leitungen sorgfältig abgeschirmt werden, da Oberwellen den Rundfunk- und Fernsehempfang stören.
Bei allen Messungen soll man nur so viel Rechteckspannungen entnehmen, wie das Arbeiten an dem Prüfling gerade erfordert.
Die gesamte Schaltung des Rechteckgenerators sehen wir in *Bild 35*. Die Transistoren $T_1$ und $T_2$ mit den Widerständen $R_1$, $R_2$, $R_3$ und $R_4$, den Potentiometern $P_1$ und $P_2$ sowie den Kondensatoren $C_1$ bis $C_{20}$ sind als monostabiler Multivibrator geschaltet.
Dieser Multivibrator hat je 10 Bereiche für die Grobeinstellung und je zwei Regelmöglichkeiten zur Feineinstellung. Mit den Potentiometern $P_1$ und $P_2$ kann jeder Grobbereich im Verhältnis 1 : 4 geregelt werden.
Untersuchen wir nun die Funktion dieser Schaltung. Der Transistor $T_1$ bekommt positive Spannung über die Reihenschaltung von $P_1$ und $R_2$, der Transistor $T_2$ über die Reihenschaltung von $P_2$ und $R_3$. Basis und Kollektoranschlüsse der beiden Transistoren sind kreuzweise über die Kondensatoren $C_{1-10}$ und $C_{11-20}$ miteinander verbunden. Legt man nun eine Spannung an, wird ein Transistor schneller durchschalten. Nehmen wir an, dies sei der Transistor $T_1$. Schaltet er durch, so wird seine Basis über $P_1$ und $R_2$ positiver.
Im durchgeschalteten Zustand aber ist der Transistor sehr niederohmig, er zieht den Kollektor auf das Emitterpotential herunter.

Der Kondensator $C_{11-20}$ wird jetzt über $T_1$, $R_3$ und $P_2$ geladen. Damit wird die Basis des Transistors $T_2$ positiv, er schaltet durch und lädt wiederum $C_{1-10}$. Die Entladezeit der Kondensatoren $C_{1-10}$ und $C_{11-20}$ ist bestimmt durch die Zeitglieder $P_1$, $P_2$ und $C_{1-10}$ sowie $P_2$, $R_3$ und $C_{11-20}$.
Über eine R/C-Kombination wird der Transistor $T_3$ an der Basis geschaltet. Der Basisstrom über die Widerstände $R_4$ und $R_5$ ist so bemessen, daß $T_3$ bei 200 kHz voll durchschaltet. Die Amplitudenregelung erfolgt mit $P_3$ im Kollektor und Emitterkreis von Transistor $T_3$. Die angelegte Spannung von 12 V wird durch den Spannungsteiler $R_6$ und $P_3$ im Verhältnis 1 : 11 geteilt. Die Rechteckspannung von ca. 1 V am Potentiometer $P_3$ sowie der über $R_6$ und zum Teil $P_3$ fließende Basisstrom des Transistors $T_3$ steuern diesen von 0 V bis 12 V voll aus. Um auch bei hohen Frequenzen die Flankensteilheit zu erhalten, werden die Kondensatoren $C_{21}$ und $C_{22}$ parallel zum Widerstand $R_5$ und zum Potentiometer $P_3$ geschaltet. Der Kollektorwiderstand $R_7$ ist niederohmig, der Transistor $T_4$ schaltet einen Strom von ca. 20 mA. Mit der Rechteckspannung am Ausgang 2 kann man einen Leistungstransistor oder ein Relais direkt schalten. Ausgang 1 ist ein Wechselspannungsausgang. Er blockt die Gleichspannung von 12 V ab. Da wir mit verschiedenen Frequenzen arbeiten, haben die Kondensatoren $C_{23}$ und $C_{24}$ verschiedene Kapazität. Ein kleines 12-V-Lämpchen zeigt uns die eingeschaltete Betriebsspannung an.

## Aufbau der gedruckten Schaltung

Die gedruckte Schaltung findet auf einer Platine mit den Abmessungen 100 × 80 mm Platz (siehe *Bild 36*). Von dieser Platine führen Verbindungsleitungen zu den Potentiometern $P_1$, $P_2$, $P_3$, den Schaltern $S_{1a}$ und $S_{1b}$ mit den Kondensatoren $C_{1-10}$ und

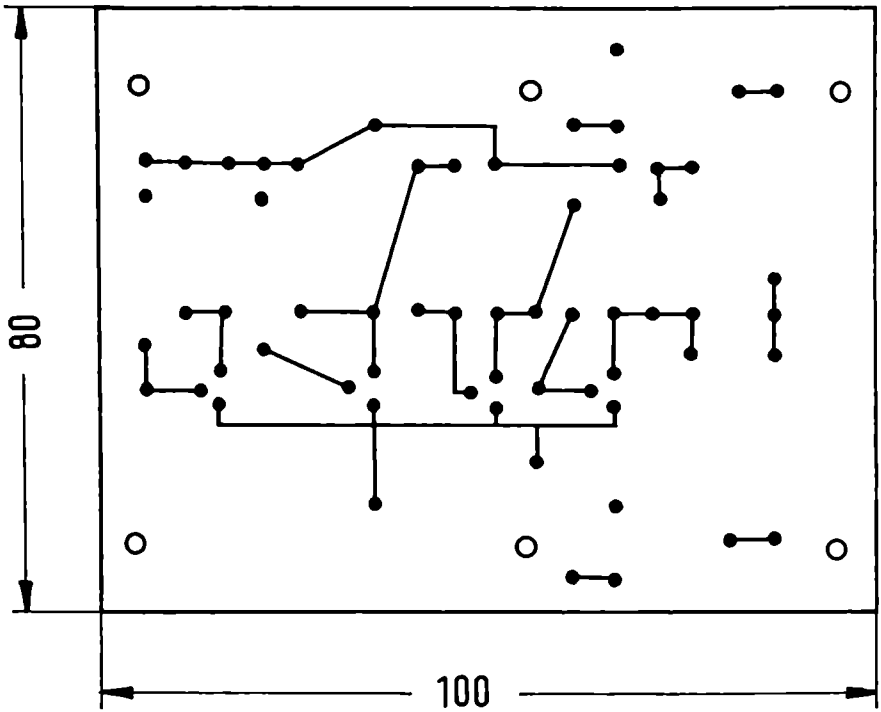



Bild 36. Gedruckte Schaltung zum Rechteckgenerator nach Bild 35

$C_{11-20}$ sowie den Ausgängen 1 und 2 und der Spannungsversorgung. Auf der gleichen Platine sind auch die Widerstände und Trimmer des Ohmmeters untergebracht, dessen Schaltung wir anschließend besprechen.

Den Bestückungsplan zeigt *Bild 37*. Wie schon mehrfach gesagt, sollte man auch hier bei der Verdrahtung verschiedenfarbige Leitungen verwenden. Die Kondensatoren $C_{1-10}$ und $C_{11-20}$ werden direkt an die Schalterkontaktleisten angelötet. Man sollte deshalb Kondensatoren mit kleinen Abmessungen verwenden. Da die Betriebsspannung 12 V beträgt, genügt für die verwendeten Elek-

trolytkondensatoren eine Arbeitsspannung von 15/18 V. Durch die doppelte Umschaltung, von Emitter und Basis gleichzeitig, ist stets nur eine Kapazität angeschlossen. Man könnte auch mit Schaltern arbeiten, die nur eine Kontaktleiste haben. Dies würde aber bei hohen Frequenzen eine nicht erwünschte Zusatzkapazität der Bauteile zu den Basis- und Kollektorleitungen mit sich bringen. Die kleinste Kapazität ist 500 pF. Diese Kapazität sowie die Widerstände $R_2$ und $R_3$ bei kurzgeschlossenen Potentiometern $P_1$ und $P_2$ und durchgeschalteten Transistoren $T_1$ und $T_2$ bestimmen die Grenzfrequenz nach oben. Dabei ist es ganz besonders wichtig zu wissen, daß die Gleichspannung von 12 V stabilisiert sein muß. Wenn man die Grenzfrequenz höher legen möchte, sollte man die genannte 500-pF-Kapazität verringern. Das geht aber nur bis zu einer gewissen Grenze, bis die Widerstände $R_2$ und $R_3$ zu hochohmig werden. Kleinere Widerstände bedeuten aber einen höheren Basisstrom. Der beste Weg ist die Verminderung der Versorgungsspannung der Transistoren $T_1$ und $T_2$. Die Verbindungsleitung $R_4$ und $R_5$ wird unterbrochen und zwischen die beiden Widerstände ein Widerstand mit 120 $\Omega$ 1 W geschaltet. Parallel zur Versorgungsspannung des Multivibrators wird eine 6-V-Z-Diode angeschlossen. Damit ist die Spannung des Multivibrators stabilisiert und beträgt 6 V. Nun können wir die Widerstände $R_2$, $R_3$ und $R_5$ kleiner auswählen. Die Zeitkonstanten werden geringer, und somit die Grenzfrequenz höher. Man kann natürlich auch mit kleiner Spannung, z. B.

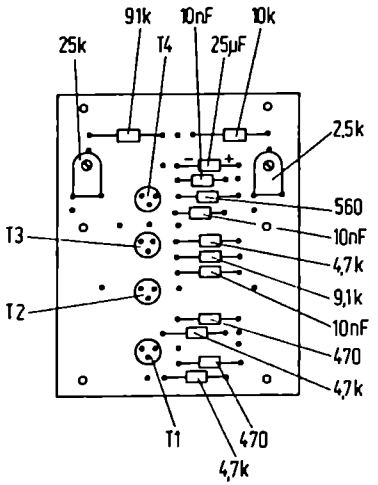



Bild 37. Bestückungsplan zum Rechteckgenerator nach Bild 35

2,7 V oder 3,8 V, arbeiten. Die Zenerdioden sollten in diesem Fall 400 mW haben.

Änderungen an einer Schaltung erfordern eine gewisse Erfahrung. Man betrachte deshalb das zuletzt Gesagte als Hinweis zu selbständiger und konstruktiver Arbeit.

## Das Ohmmeter

Wie schon erwähnt, ist auf der Platine des Rechteckgenerators auch das Ohmmeter untergebracht, dessen Schaltbild mit den Verbindungsleitungen und der Meßanordnung *Bild 38* zeigt. Der unbekannte Widerstand $R_x$ wird in Reihe mit der Spannungsquelle 12 V, dem Mikroamperemeter 100 $\mu$A und einer Widerstandskette geschaltet. Durch die gesamte Schaltung fließt ein Strom. Je nach Größe des Widerstandes $R_x$ wird das Mikroamperemeter einen verschieden großen Strom anzeigen. Diese Anzeige eichen wir mit ausgemessenen Widerständen in eine Ohm-Anzeige. Die Bauteile der Anordnung $Tr_1$, $R_8$, $R_9$, $Tr_2$ sind so gewählt, daß im Kurzschlußfall maximal 100 $\mu$A fließen können. Der Meßbereich 1 geht von 0—10 M$\Omega$. Kleinere Widerstände werden mit Meßbereich 2 gemessen. Das Anzeigeinstrument an der Frontplatte wird auf 1 mA Vollausschlag umgeschaltet und der Widerstand $R_1$ (= $Tr_1$ und $R_8$) kurzgeschlossen.
Werden noch kleinere Meßbereiche benötigt, geht man um den Faktor zehn herunter und schaltet das Anzeigeinstrument auf 1 oder 10 mA um. Die Trimmer und die Widerstände werden jeweils wieder um den Faktor 10 kleiner. $R_2$ kann beibehalten oder mit $R_1$ vertauscht werden. Der neue Widerstand $R_2$ setzt sich dann zusammen aus $R_9$ mit 1 k$\Omega$ und $Tr_2$ mit 250 $\Omega$. Bei

allen Kombinationen muß man stets auf die richtige Schaltung des Anzeigeinstrumentes achten.

**Stückliste Rechteckgenerator und Ohmmeter**

2 Stufenschalter 2 × 10 Schaltstellungen
2 Zeigerdrehknöpfe dazu
3 Drehknöpfe Kleinausführung 6-mm-Achse
8 Miniaturbuchsen 2,4 mm
8 Lötfahnen 4 mm

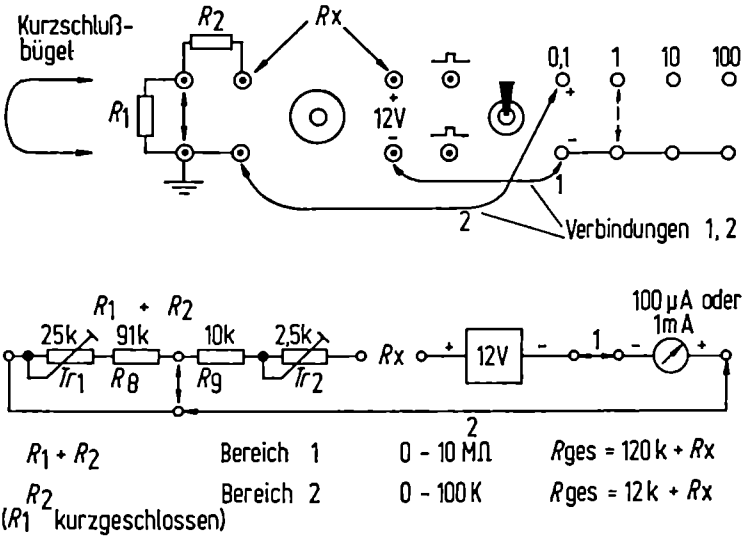



Bild 38. Anschlüsse und Schaltbild des Ohmmeters

# Bezugquellenverzeichnis

Die Hersteller elektronischer Bauelemente liefern im allgemeinen nicht direkt an Bastler. Wir empfehlen daher, sich an spezielle Versandfirmen zu wenden, und geben im folgenden einige Adressen solcher Firmen. Die Liste erhebt keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit.

Arlt-Radio-Elektronik, 4 Düsseldorf, Am Wehrhahn 75
Atzert-Radio, 1 Berlin SW 61, Stresemannstraße 100
Balü-Electronic, 2 Hamburg 1, Burchardplatz 1
Hannes Bauer, 86 Bamberg 2, Horntaler Straße 8
Bühler Elektronik, 1010 Wien, Marc-Aurel-Str. 2a
Bühler Elektronik, 8010 Graz, Gartengasse 4
Bühler Elektronik, 5020 Salzburg, Neutorstraße 17
Conrad, 8452 Hirschau/Bayern, Postfach 121
Radio-Draeger, 7 Stuttgart S, Sophienstraße 21b
Alfred Knitter KG, 8011 Baldham bei München
Radio-Fern-Elektronik GmbH, 43 Essen, Kettwiger Straße 56
Grieder-Bauteile, 4002 Basel, Peter-Merian-Str. 58
Mainfunk-Elektronik, H. Wenzel, 6 Frankfurt (M.), Taunusstr. 21
Nadler Radio-Elektronik GmbH, 3 Hannover, Hamb. Allee 55
E. Queck, 85 Nürnberg, Augustenstraße 6
Radio-RIM, 8 München 15, Bayerstraße 25
Technik-Versand, 28 Bremen, Außer der Schleifmühle 68
G. Völkner, 33 Braunschweig, Ernst-Amme-Straße 11
Wiepking & Co., 2 Hamburg 6, Schanzenstraße 115
J. Winckler, 2 Hamburg, Jungfernstieg 51
van Winssen, 46 Dortmund, Brückstraße 52

# Einige Formeln und Berechnungsbeispiele

## Grundformeln der Elektrotechnik

*Das Ohmsche Gesetz*

$$I = \frac{U}{R} \qquad R = \frac{U}{I} \qquad U = I \cdot R$$

I elektrischer Strom in Ampere (A)
U elektrische Spannung in Volt (V)
R ohmscher Widerstand in Ohm ($\Omega$)

*Widerstand eines Leiters (Drahtes)*

$$R = \frac{l \cdot \varrho}{A}$$

l Länge des Drahtes in m
$\varrho$ spezifischer Widerstand des Drahtes
A Querschnitt des Leiters in mm²

*Elektrische Leistung*

$$P = U \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}$$

P elektr. Leistung in Watt (W) oder Voltampere (VA)

*Reihenschaltung von Widerständen*

$$R_{ges} = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_n$$

$R_{ges}$ Gesamtwiderstand

*Parallelschaltung von Widerständen*

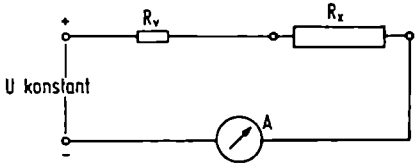
$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_n}$$

*Berechnung des Vorwiderstandes* $R_v$ *bei Stabilisatoren und Z-Dioden*

$$R_v = \frac{U_b - U_{Stv}}{I_{max}} \text{ bzw. } \frac{U_b - U_{ZD}}{I_{max}}$$

$U_b$ Gleichspannung vor $R_v$
$U_{Stv}$ bzw. $U_{ZD}$ Spannung des Stabilisators bzw. der Z-Diode
$I_{max}$ maximal zulässiger Strom der Röhre bzw. der Z-Diode

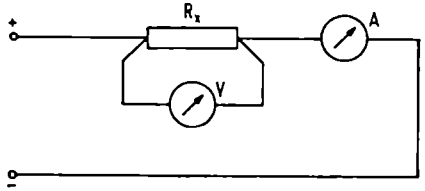
*Indirekte Widerstandsmessung. Direktanzeigendes Ohmmeter*




$$R_v + R_x = \frac{U}{I}$$

$$R_x = \frac{U}{I} - R_v$$

*Messung niederohmiger Widerstände (Strom-Spannungsmethode)*




$$R_x = \frac{U\ [V]}{I\ [A]} \quad [\Omega]$$

$$R_x = \frac{U\ [mV]}{I\ [mA]} \quad [\Omega]$$

*Effektiv- und Maximalspannung*

$$U_{eff} = \frac{U_{max}}{1{,}414} \qquad U_{max} = U_{eff} \cdot 1{,}414$$

*Parallelschaltung von Kondensatoren*

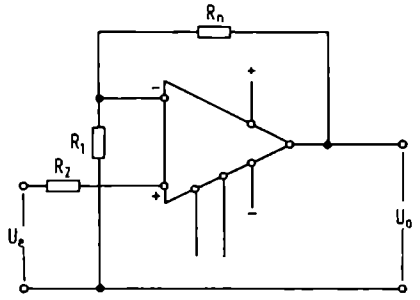
$$C_{ges} = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots + C_n$$

$C_{ges}$ Gesamtkapazität in Farad (F)
$C_1$, $C_2$, $C_3$, Kapazitäten der einzelnen Kondensatoren in F

*Reihenschaltung von Kondensatoren*

$$\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots + \frac{1}{C_n}$$

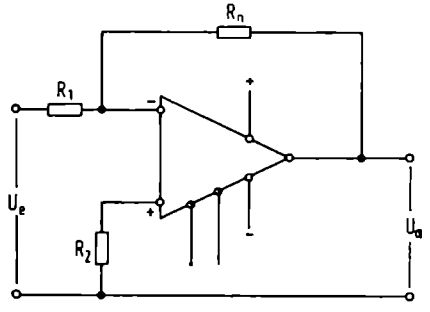
*Operationsverstärker*




Verstärkung bei einem nichtinvertierenden Eingang.

Hochohmig

$$V = \frac{R_n}{R_1} + 1$$

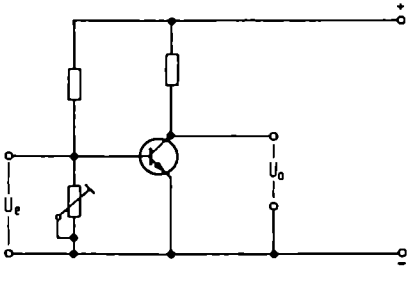



Verstärkung bei einem invertierenden Eingang.

Niederohmig.

$$V = -\frac{R_n}{R_1}$$

*Transistoren*




Stromverstärkung.

$$B = \frac{\Delta I_{CE}}{\Delta I_{BE}}$$

Spannungsverstärkung.

$$V = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta U_{BE}}$$

# Literatur


Kurt Leucht, Die elektrischen Grundlagen der Radiotechnik, Franzis-Verlag

S. W. Wagner, Stromversorgung elektronischer Schaltungen und Geräte, R. v. Decker's Verlag G. Schenck

Peter Schöne, Ausbildungslehrgang Radiotechnik,
Band 1: Grundlagen-Lehrgang,
Band 2: Radio-Lehrgang,
Band 3: UKW-Lehrgang,
Telekosmos-Verlag

Horst Schikarski, Die gedruckte Schaltung, Telekosmos-Verlag

V. J. Karpov, Transistoren in Speisegeräten, Telekosmos-Verlag

Hansjürgen Vahldiek, Operationsverstärker, Telekosmos-Verlag

# Sachregister


Arbeitspunkt eines Transistors 42
Anzeigeinstrumente, Genauigkeit der 10

Begrenzerschaltung 54

Diodenplatine 26
Diodenmessung 44
Diodenkette 14, 28

Fehlersuche 9
Frontplatte 17

Gedruckte Schaltung 30
Gehäuse 20
Genauigkeit der Anzeigeinstrumente 10

HF-Tastkopf 66, 67

Messen an Schaltungen 9 f.
Meßbereichserweiterung 37
Meßgenauigkeit 10
Multimeter 14

Netzgeräte 27, 62

Operationsverstärker 47, 53
Ohmmeter 74 f.
Oberwellen 68

Rechteckgenerator 67
Relaisfassunsanschlüsse 36
Rechteckspannungen 68

Spannung 12
Strom 12
Spannungsteiler 11, 51
Spannungsverstärkung 41
Stromverstärkung 42

Transistorprüfgerät 39
Transistorschaltung 11
Transistorkennlinie 42

Widerstand 12
Widerstandsmessung 13
Widerstandsplatinen 26
Wechselspannungsmessung 55, 56, 57

Zenerdiodenmessung 45

**Für den Hobby-Elektroniker**

## Das große Meßgeräte-Bastelbuch

Einfache und hochwertige Meßgeräte
mit ausführlichen Bauanleitungen

Von Ing. (grad.) **Heinrich Stöckle**

Der Autor bringt in seinem neuen Buch ausführliche Anleitungen zum Selbstbau von etwa zwanzig verschiedenen Meßgeräten, von einfachen bis zu hochwertigen Versionen. Alle Schaltungen wurden vom Autor zweimal aufgebaut, erst als Brettschaltung und anschließend als vollständiges Gerät, so daß weitgehende Funktionssicherheit besteht. Im Gegensatz zu den meisten Veröffentlichungen dieser Art bringt dieses Buch die genaue Beschreibung der technischen Eigenschaften jeder Schaltung. Es ist nicht übertrieben, wenn man den Band, der dem Trend nach ausführlichen Bauanleitungen der stetig an Bedeutung zunehmenden Hobby-Elektronik in ganz besonderem Maße entgegenkommt, als bisher einmalig in seiner Art bezeichnet.

184 Seiten mit 48 Zeichnungen im Text und 20 Fotos auf 8 Tafeln.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Telekosmos-Verlag
Franckh'sche Verlagshandlung 7 Stuttgart

# Wir bauen ein Vielfachmeßgerät

Herstellungsbedingte Toleranzen bei den elektronischen Bauteilen, Fehler beim Zusammenbau und bei der Arbeit an der Schaltung und das Prüfen des fertigen Geräts auf Funktionstüchtigkeit machen die Anschaffung eines Meßgerätes zur unerläßlichen Investition für jeden ernsthaften Hobby-Elektroniker. Der bequemste Weg ist, das Gerät oder die Geräte, denn meist sind mehrere nötig, einfach im nächsten Laden zu kaufen. Der Anspruchsvollere aber wird sich sein Meßgerät selber bauen. Die Mittel und Wege dazu zeigt ihm Baitinger. Er beschreibt im vorliegenden Bändchen ein von ihm selbst entwickeltes Multimeter, mit dem jedes elektronische Bauteil und jede Schaltung geprüft und durchgemessen werden kann. Das Gerät mit elektronisch geregelter Spannungsversorgung und Rechteckgenerator wird über zwei Netzgeräte betrieben. Wir messen und prüfen damit Transistoren, FET, Dioden, Z-Dioden, Kapazitätsdioden, Widerstände, Kondensatoren usw. Das Gerät ermöglicht u. a. Spannungsmessungen für Gleich- und Wechselstrom von 3 mV bis 1000 V, Strommessungen von 5 $\mu$A bis 1 A und Widerstandsmessungen im Bereich von 1$\Omega$ bis 50 M$\Omega$, bei stabilisierten Spannungen von 1,5/3/4,5/6/7,5/9 V und einem Strom von 500 mA. Wer dieses Gerät baut, dringt nicht nur zu einem tieferen und umfassenden Verständnis des Messens mit elektronischen Mitteln vor, sondern schafft sich auch mit geringstmöglichem finanziellem Aufwand ein Hochleistungsmeßgerät, das mehrere Funktionen in sich vereint.

In der gleichen Reihe sind erschienen:

**W. Baitinger: 25 Schaltungen mit einer Platine**
**H. Richter: Wir steuern mit Licht**
**H. Stöckle: So baut man eine Schaltung auf**
**H. Stöckle: Wir bauen Alarmanlagen**
**H. Stöckle: Elektronische Thermometer**
**R. Zierl: Wir bauen Niederfrequenz-Verstärker**
**R. Zierl: Wir bauen Mischpulte**
**R. Zierl: Wir bauen Rundfunkempfänger**

Baitinger
Vielfachmeßgerät
ISBN 3-440-03926-9